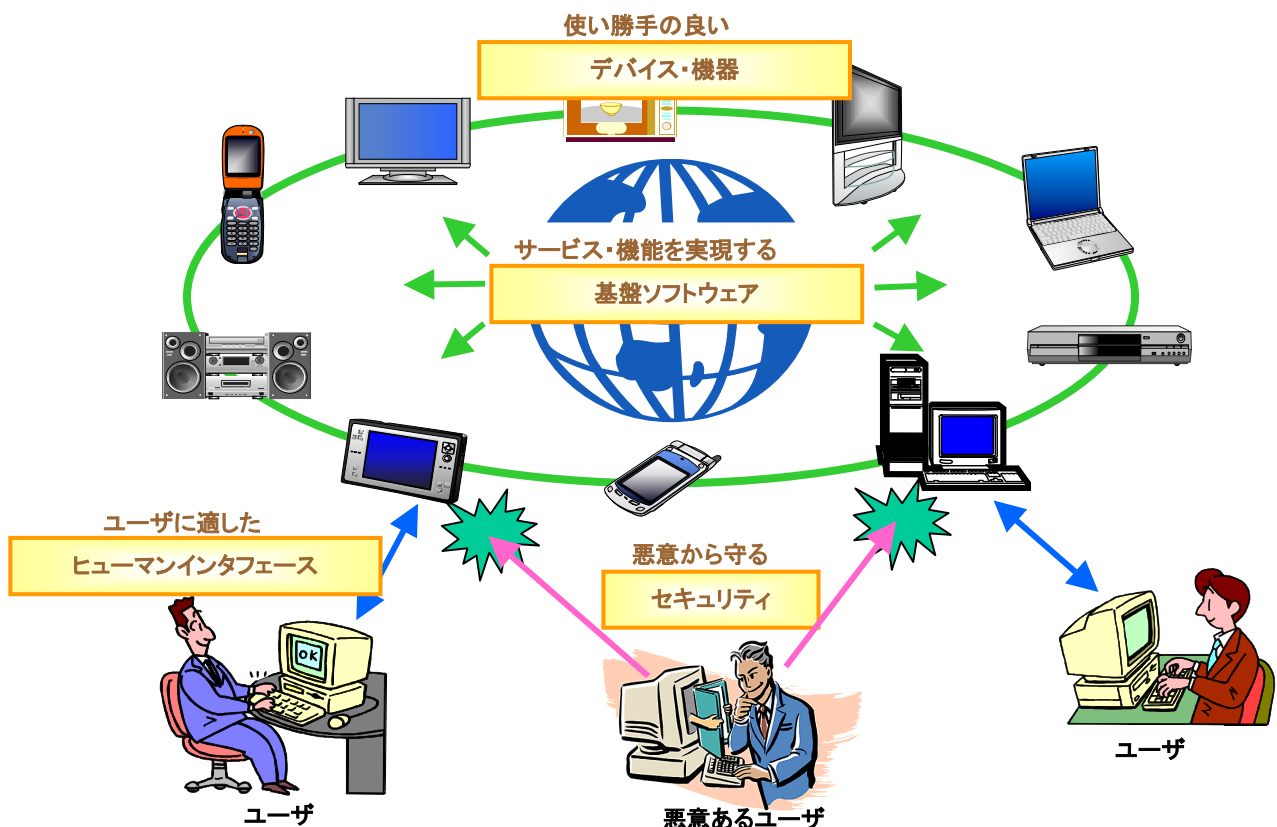
Ⅵ　ユーザビリティ分野

序　文

今後のユビキタスなコミュニケーション環境を実現するためには、どこにおいても人がデジタル情報機器を自由に活用できる環境が必要となる。携帯端末や情報家電機器のネットワーク化が進展する中で、情報家電機器などが宅外からもアクセスできたり、携帯電話や車載機器とも相互接続されるなど、ユーザがいつでもどこでもサービスやコンテンツを享受可能な環境の実現及び、それを支えるユーザビリティ技術の開発が期待されている。

このような情報家電機器が広く使用されることにより、家庭における生活が便利・快適・安心になるばかりでなく、情報の流通範囲・形態が拡大され、人々のコミュニケーションが一層深められる。即ち、いつでも好きな時に、相手の場の状況に合わせたコミュニケーションや情報交換が可能となる。また、音声、テキスト、画像などの異種コンテンツの相互変換や、複数情報の連携作業などが可能となる。さらに今後のユビキタスなコミュニケーション環境では、モバイルコンピューティングによりオフィスの内外で変わらない作業環境を創り出すことが可能となり、ワークスタイルも変えうると考えられる。このようにデジタル情報機器は人々の社会生活を大きく変えうる能力を秘めており、このための基盤技術を開発することは産業界を活性化するだけでなく、世の中に変革をもたらすものと考えられる。

今後のデジタル情報機器を支えるユーザビリティ技術は広範な領域をカバーするものであるが、本ロードマップではユーザビリティの視点を「人中心型コンピューティングの実現」と捉えて、ユーザビリティ分野の重要技術を取り上げる。

ユーザビリティ分野ロードマップで扱う大分類項目の相関を下図に示す。

ユーザビリティ分野における大分類技術項目の相関図

人中心型コンピューティングを具体的に実現するものが「デバイス・機器類」である。使い勝手の良いデバイス・機器の実現に向けて開発を進めるべきであり、かつ消費電力の少ないデバイス・機器の実現が重要となってくる。そのようなコンピューティング環境を実現するためのデバイスとして、ディスプレイ、電子ペーパーメディア、ホームサーバ、センサ／スマートタグの 4 つの中分類を取り上げ、人にとって使いやすいデバイス、消費電力の少ないデバイス・機器のロードマップを検討した。

「基盤ソフトウェア」は、人に負担をかけることなくバックヤードからユーザの支援を行う重要技術である。機器等の人手による設定をなるべく避けて、誰でもが簡単に使える環境を裏側で支援する。膨大な資源が遍在する環境下でのゼロマニュアル設定や資源の効率的な利用に向けて技術開発が進められており、ユーザの状況に適応するコンテキスト適応型サービスなどの実現が可能となる。

「セキュリティ」は、人が安全にかつ安心にシステムを利用できるための重要技術である。使用システムはブラックボックスとなるため、安心してシステムを利用できるためには使途に応じたプライバシ・アクセス制御技術の高度化を進めることが重要であり、また、認証技術においてもマルチモーダル認証など複数手段による認証が重要になって行く。

「ヒューマンインタフェース」は単に人が機器に対して行う機械的な操作のみならず、ユーザの希望するサービスや情報を希望する形態で提供可能とすることが重要である。このため、今後は音声や画像を入出力情報として状況・空間理解を実現するインタフェースや、単一メディアの扱いから複数メディアをアプリケーションに応じて適材適所に使い分ける形態に向けて進展して行く。

本ロードマップで取り上げる重要技術としては、産業競争力の維持・向上につながる技術として、ヒューマンインタフェース、ディスプレイ（臨場感ディスプレイやフレキシブルシートディスプレイ等）が、安全性・信頼性の確保など社会的ニーズに応える技術としてセキュリティが、また、技術基盤の確立として基盤ソフトウェアにおけるサービス適応やネットワーク相互接続等が挙げられる。

1.　ヒューマンインタフェース

1.１　知覚インタフェース

1.1.１　産業の現状

外界の状況を入力することで、高度な情報処理を実現する技術を知覚インタフェースと呼び、ユーザビリティの高度化を実現する。多様なモーダルを利用して実現されているが、現状では特に音声、画像が主に利用されている。また、GPS に代表される測位システムを利用して得られる位置情報や空間の状況理解を通してのシステムも実用化されている。

(1)音声認識

音声認識による知覚インタフェースの産業については、90 年代後半から米国を中心に音声認識による電話応答自動化が実用段階に入っている。現在は、話者が協力的にていねいに発声した離散単語の認識が中心で、名前や住所、コマンドなどを対象としている。米国の主要音声認識ベンダーである Nuance、IBM、ScanSoft などの売上高合計が 1000 億円近くに上っており今後も拡大が予想されている(図1－1)。日本国内でも発着便案

図1－1　米国音声認識技術の市場規模予測

	2002 年	2006 年
電話用途音声認識	1 億ドル	20 億ドル
非電話音声認識	9.5 億ドル	23.4 億ドル

出典：Frost&Sullivan「North American Telephony Based Speech Technology Software Market　#6329-62, 2002」、「US Non-Telephony Speech Recognition Market #5093-11,2001」を基に作成。

内やチケット予約などの音声認識による電話応答サービスが始まっているが規模はまだ大きくない。今後は、24 時間サービスの一般化などに押されて拡大が期待されている。

国内では電話音声認識に加えてカーナビなどの車載機器への音声認識インタフェースの搭載が 90 年代から始まっている。サンバイザーやダッシュボードに設置したマイクロホンを使用するハンズフリー入力が鍵になる。当初は数十語コマンド(制御語)の離散単語認識から始まり、近年では地名・住所(数千～数万件)を識別する技術の搭載も始まっている。しかし限定語彙であること、耐雑音性能が必ずしも十分でないこともあり、広く一般に利用されるレベルには達していない。

(2)画像認識

画像を用いた知覚インタフェースの産業は、文字入力と映像入力を中心に発展してきた。手書き文字入力は、比較的丁寧に書かれた文字の認識が可能となっており、端末 OCR ならびに郵便宛名区分機用 OCR が主要な市場である。前者は、金融、流通端末を中心に専用ハードウェア OCR、ソフトウェア OCR 合わせて 150 億円規模の市場がある(図1－2)。また、後者においては、手書き漢字認識技術による住所や宛名読み取りにより実現されており、数百億円規模の市場がある。近年は、はがきや小型封書のみならず、大判封書(フラット)を区分するフラットソータは、宅配業者などにも展開中で世界的な傾向である。日本語のみならず、英文や欧米語住所認識ベースの英欧米圏向けの郵便宛名読み取り区分機が実現され、欧米への輸出が行われている。

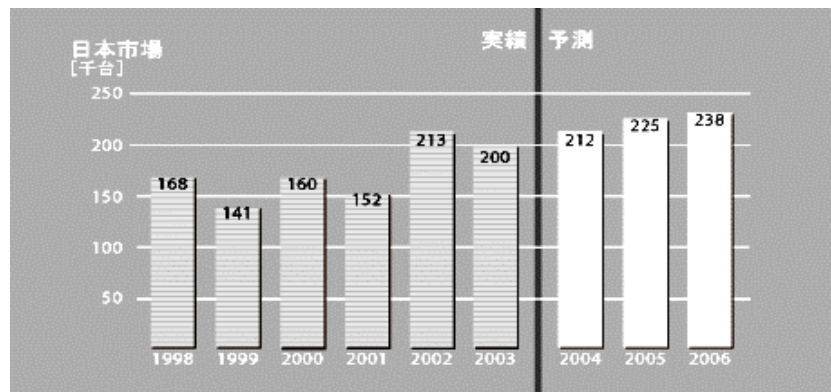
携帯電話にカメラが搭載されたことにより、単に写真撮影に用いるだけではなく、名刺に印刷された電話番号やメールアドレスをカメラ画像から自動認識する機能が 2002 年に NTT ドコモの N504iS(NEC 製)に搭載された。また、2003 年にはノキアがスタイラスペンを使って手書きの中国語、英語を入力できる端末(Nokia6108)を発売している。

（出典：（社）電子情報技術産業協会資料）

図１－２　OCR 国内市場規模推移

カメラによる映像情報での知覚インタフェースは、従来 FA での欠陥検査などを中心に産業化されてきたが、カメラ利用は自動車においても急速に普及してきている。バックモニタで 2004 年度では 25 万台、車線維持ユニットで８万台、ナイトビジョンで３千台とみており、さらに急速な普及予測されている(いずれも矢野経済研究所「2003-04 年版　画像システム・機器の市場実態と需要予測」より)。単純な画像表示だけではなく、先行車検知・レーンキーピングシステム、駐車支援など、より高度な運転支援機能が実用化されている。高速な画像処理が要求されるこの領域に対して、NEC からは、100GOPS(Giga Operations per Second)の動画像処理プロセッサ、IMAP/CAR が紹介されるなど、安全・安心をめざした車社会の実現めざして関連メーカーで認識機能の高度化が進められている。

(3)状況理解

次に、状況理解技術とは、ヒトやモノの空間内での位置や姿勢／行動、空間そのものの状態や取り巻く今日の状態を計算機世界に取り込む技術である。状況理解技術は、対象の状態を観測するセンサと、センサからのデータを流通させるためのネットワーク、複数のセンサデータを統合・利用する統合処理から構成される。

センサは、利用可能な空間（屋外、屋内等）、理解する対象（モノ／ヒト、空間等）、取得データ（位置、ID、温度等）により大まかに分類でき、屋外にて受信機が取り付けられたモノの位置を取得する測位技術を中心に、屋内にてモノに取り付けられたタグを識別する RFID システムや、対象の姿勢や行動を取得するための加速度センサや方位センサなどがある。屋外における測位技術は衛星を利用したシステムが中心となっているが、屋内用は未だ標準的な方式はない。一方、ヒト／モノを識別するシステムとしては RFID システムの実用化が急速に進みつつある。在庫／資産管理や、ヒト／モノの位置管理への適用も広がっている。

（4）空間理解

位置情報を用いた種々のサービスは、米国や欧州で緊急連絡用に位置識別機能の搭載を義務づける「E911」（米国）や「E112」（欧州）と呼ばれる法律が制定されたことや、アジア圏での携帯電話を用いたナビゲーションサービスが軌道にのりはじめたこと、さらには技術面でも GPS を中心とする測位システムの精度や速度が向上したことなどから再度市場が急拡大すると見られている。例えば、北米では位置情報の提供サービスが 2001 年の 37 億ドルから 2005 年には 130 億ドルに達すると予想されている。国内においても携帯電話を用いたモバイルコマースや情報サービスが 2005 年には 6000 億円規模になると予測されている。また、GPS などのデバイスから取得した位置情報を統合・管理・加工する GIS（Geographic Information System：地理情報システム）関連市場は、1999 年の 6800 億円から 2005 年に 3 兆 6100 億円に拡大するとみられる。RFID（Radio Frequency IDentification）システム関連市場は、国内においてシステムを構成する機器や設備の市場が 2000 年の 100 億円から 2013 年には 4310 億円に急拡大すると見られている。

１．１．２ 今後の見通しと課題

⑴音声認識

音声認識による知覚インタフェースの大きな今後の流れとしては、自然な話し言葉の認識と雑音に頑健な認識技術の開発である。

現在までに実用化されている音声認識は、人間が機械に向かって協力的にていねいに発声した音声（離散単語）を認識している。これは人間同士の自然な対話とは発話スタイルが大きく異なっている。言い淀んだり言い直したりすると誤認識するため音声認識を利用するユーザに多大な緊張やストレスを与えている。また認識できる語彙や文法に限定が強いため、ユーザは何が受理可能かを意識しながら余計なことを言わないように注意深く発話しなければならない。

今後は、これら発話スタイルの限定と話題・語彙・文法の限定を解消して、ユーザが意識せずに人間同士と同様の自然な話し言葉で音声入力できる技術を開発することが最重要課題である。発話スタイルの課題としては老人や子供音声への対処も重要である。また N グラム統計言語モデルは対象アプリケーションに関する大規模なテキストコーパスから自動学習されるが、アプリケーションごとのコーパス作成コストが深刻な問題となる。低コストで自動的に対象アプリケーションの話題に適した言語モデルを構築する話題適応技術、複数の話題の混合や話題遷移を検出する技術、認識結果の非文法的な単語列から意味を抽出する技術、などの開発が必要である。

話し言葉の認識技術は、機械と人間の自然な対話による情報アクセスに加えて、人間と人間のコミュニケーションを音声認識するという新しい応用分野を開くと期待される。すなわち放送、講演、会議やコールセンター対話などを音声認識することにより、大規模な録音アーカイブの検索・マイニングや字幕・議事録作成自動化、などが実現される。今後のデジタルコミュニケーションの爆発的な拡大に伴い、それらへのアクセス技術（テキスト化、検索・要約など）として期待される応用分野である。さらに他国の情報へのアクセスやビジネスのグローバル化から多言語対応が必要になる。現状でも、日英中程度の多言語認識技術開発は進められているものの、いつでも使える携帯型システムには程遠い。多言語化を進めるためには、構築コストの低減や言語モデルのコンパクト化と認識精度との両立を実現しなければならず、長期的な取組みが不可欠である。

雑音に対する頑健性の向上も音声認識技術の大きな課題である。モバイル環境や家庭環境ではヘッドセットマイクロホンを装着することは期待できないため、マイクロホンは常に口元から遠く離れた位置に設置され、周囲の雑音や話し声、残響音、などを同時に集音してしまう。それらの雑音に埋もれた目的音声を認識するハンズフリー認識技術が必須である。現在開発されている技術は、車載でハンドルやサンバイザーにマイクを設置して、口元から約 30cm、S/N 比を 15dB 程度に抑えることで実用化を進めている。今後は、まず距離を延ばしてマイク設置位置の自由度を上げたり、距離を 30cm 程度抑えておいて S/N 比が 5dB 程度での実用化が進む。さらに、距離を延ばして、さらに S/N 比が悪い自動券売機や ATM 端末などの外環境での実用化が進められる。また、距離延ばすことで、家庭環境でのリモコンの替りにも利用できるようになる。雑音の種類も自動車走行音のような比較的定常な雑音だけでなく、さまざまな非定常雑音（家庭内雑音、音楽、…）や周囲の人の話し声などさまざまな雑音を扱わねばならない。同居家族や自動車の同乗者のような複数の話者の同時発話を分離し、それぞれを認識する技術も求められる。複数マイクロホンの取り付け位置の変動やマイクロホン個体差のバラツキ、話者の移動などに頑健な方式の開発が重要と考えられる。

⑵画像認識

画像認識系の技術は、大きく文字入力と環境理解の応用に大別できる。文字入力技術は今後扱うべき文字の種類と手書き文字の自由度が拡大され、より自然なユーザビリティが実現される。また、環境理解では、認識

対象種類の拡大とレスポンスタイムを中心に技術が発展する。さらに、カメラ系のみならず扱うセンサの種類が拡大するとともに、組み合わせて環境を理解するセンサフュージョンが進む。

従来のOCR市場でのローエンドでは、中小規模な企業を対象に安価なソフトウェアOCRが浸透していくことで、今後3年間で年率6%(台数ベース)の伸長を予測している(JEITA)。この成長を維持するためには、様々なフォーマットを自動的に判別して読み込む技術、手書きの単語単位の認識精度の向上が鍵となる。一方、ハイエンドである郵便宛名区分機用OCRについては、冊子小包が急増している(161百万個/H10年度、276百万個/H14 年度)。このような冊子上の住所を認識して仕分けするフラットソーターは4万通/時間程度の供給能力があるが、多様な文様の中からあて先に相当する部分を検出する技術が自動化率向上のポイントとなり、5 年以内の実用化、精度向上が不可欠である。一方、英欧米圏向けの郵便宛名読み取り区分機は、郵便番号制度はあるものの、記入欄はなく、桁数の多さなどから信頼性が十分ではない状況下で、そのあいまい性を住所認識結果と補完しあう方法で実現している。しかし、その区分率(配達局が確定できた数/供給数)は誤区分を 1%以下に抑えた場合、50%前後に留まっており、宛名行の抽出、手書き英単語認識の高精度化が必要である。さらに、グローバル化を進めるためには、英語だけでなく、世界中の住所や氏名を読み取ることから実現することが必要で、10年以内の実用化が見込まれている。

その一方、パーソナルOCRとしてドキュメントを認識する文書OCRがあるが、従来は単一言語(日本語)であったものが、漢字認識の対象字種数の増加、ハングル語対応などを進め、今後数年間で多言語対応となり既にある翻訳機能とリンクされる。その後、ユーザの手書き文字を認識し、デスクワークを支援するようなシステムに発展する。また、当該機能は携帯電話のカメラ利用として実用化が進められ、グローバルローミング機能と合わせて、海外旅行時の利便性を提供する。第2世代から第3世代機へ切り替わる2007年を目処に多言語化を準備する必要がある。このような機能は、携帯電話のみならず、国内産業が強いデジタルカメラやデジタルビデオカメラや、電子辞書などへの搭載が進められると見られる。電子辞書での問い合わせに利用するためにも、単に印刷物をカメラで写して文字入力するだけでなく、手書きで多言語入力できることが必要となる。この場合には、単一文字や単語を分離して記入できるので、若干早い実用化が見込まれる。

カメラを用いた環境理解では、まず産業としての立ち上がりを見せる自動車関連の認識市場において、道路監視から産業が進展する。現状は路側や道路の上方に設置されたカメラから撮影されるビデオから車両や落下物を自動検出している。今後、その技術がコンシューマ領域に展開され、PC や家電のユーザインタフェースとして利用できる。これは、特定の状況下でのジェスチャー認識、視線検出などがゲームや車内でのインタフェースとして実現が加速する。さらに、無線で接続できる安価なカメラの普及が進む2008年ごろには、家庭内の環境を認識して、自動的な監視が実用化される。本技術は、屋外にも順次展開される。さらに、人間の行動まで理解できるようになると、道路監視において路側を歩く人の危険度も判断できるようになる。また、車載の認識システムの高度化が進み、2010 年度には、一般道における白線検出、標識・信号認識、さらには歩行者検出がハイエンド車のオプションではなく、ABS やエアバックと同様に標準機能として登場すると予想される。2015 年度には、画像認識と各種センサとの統合により、自動車外部全方位の認識が昼夜を問わず行われ、それを用いた行動予測、衝突回避支援などの機能が開発される。この時、フレームレートでの処理が前提となる。人物は多種多様であることから、車などの剛体に比べて難しい認識対象となるが、ここ数年で室内など環境が安定なところでの実用化が加速される。

センサフュージョンについては、まず複数カメラの利用から産業が立ち上がる、特に、車載カメラによる安全支援のためには、可視光カメラによる映像だけでは限界があり、夜でも人を検知できる遠赤外カメラの併用が進む。さらに、雪や雨の中でも利用できるレーダーなども含めて総合的な前方監視が実用化される。また、2010 年以降には、生体センサーを用いてドライバの覚醒状態などをチェックする機能も実現される。自動車関連では、さらに路車間の通信、車々間の通信などが実現し、ITS インフラとの連携も可能となってくる。見通しの悪い地点に

カメラを設置し、先行車が停止していることを認識し、後続車に停止を促すようなシステムが実現する。ITS 関連市場は、当面、機器・デバイス中心で 2007 年には1．5兆円であるが、その後システムサービス市場が急拡大し、2015 年には、4．5兆円の市場が予測されている（2003 年富士キメラ総研資料）。

(3)状況理解

状況理解はマンマシンインタフェースを実現していく上で必要となる技術である。大きな目標としては、対話相手であるユーザの意図を理解することが必要であるが、現状では全く解決できていない。確実にユーザの意図をつかむために、メニュー選択など機会側が提示した選択肢をユーザが指示することで解決している。その中で、ユーザの感情も認識して利用する試みが進められている。表情や言葉から推定するものであり、微妙な変化を見つけることはできないが、興味を持っているか持っていないか、怒りを表現したいのかそうでないかという大きなカテゴリでの感情を検出することは 2010 年までに実用化されると考える。さらに、大量の対話コーパスの蓄積が進められること、その分析技術が進められることにより、多様な言い回しと、状況による表現に違いを検出することが可能になる。これにより、ユーザの状況や感情に基づく言葉の意図を推定することが可能になり、よりマンマシンインタフェースの機能が進む。

（4）空間理解

状況理解の特定技術である空間把握技術は、測位、センサータグ、センサーネットワークがそれぞれ精度が高度化することで進む。

屋外における測位技術は衛星を用いた方式が広く普及しており、米国の GPS が一歩先んじている。ロシアの GLONASS は衛星数や衛星寿命などの運用面で問題があり、EU の Galileo はいまだ 2008 年に第一陣の衛星打ち上げが計画されているのみである。米国は GPS の近代化計画に基づき、民生用 L2 帯に CA コードを乗せることができる衛星(Block IIR-M)を 2003 年～2006 年に打ち上げ、第3番目の周波数 L5 を出す衛星(Block IIF)を 2006 年～2010 年に打ち上げる予定である。国内では GPS 方式と互換の準天頂衛星を 2008 年に計画しており、GPS 衛星と合わせて更なる測位高度化が期待されている。GPS 信号を受信する受信モジュールも小型化が進みカーナビゲーションシステムだけではなく、携帯電話にも搭載されるようになっている。単独測位では数 m 程度の精度が得られる程度であるが、今後 DGPS（Differential GPS）や RTK-GPS（Real-Time Kinematic GPS）などの高精度測位方式の測位時間短縮や受信装置のコストダウン／小型化が進み携帯端末でも利用可能になると思われる。

屋内における測位技術は、いまだ標準となるべき技術が存在しないのが現状である。ここでは屋内の測位技術を得られるデータの粒度により、特定の場所を通過したことを検知するゲート型、特定の領域内にいることを検知するエリア型、空間内座標を求めるポジション型に分類する。

①ゲート型測位

ゲート型の代表は、パッシブ型RFIDシステムである。RFIDシステムは、RFIDタグが電池を内蔵し自ら電波を発するか否かでアクティブ型とパッシブ型に、また用いる電波の周波数帯域（135KHz以下／13.56MHz／300～400MHz／800～900MHz(UHF帯)／2.45GHz等）により分類される。RFIDタグを読取可能な距離は数cmから数mまで様々であるが、読み取ったRFIDリーダの設置場所をRFIDタグの位置とみなすことで屋内の測位にも利用可能である。パッシブ型はRFIDリーダからの電波を受けたRFIDタグが識別コードを返送する仕組でありRFIDリーダとRFIDタグの距離が比較的短く、位置関係も限定されることからゲート型の測位システムとして利用される。一方、自ら電波を発するアクティブ型は到達距離が長く、RFIDリーダとRFIDタグの位置関係の制約が少ないことからエリア型の測位システムとして利用される。

②エリア型測位

エリア型としてはアクティブ型RFIDシステム、赤外線を用いるもの、携帯電話／無線LANの基地局情報を用いるものがある。赤外線を用いるものとしては1990年代前半に実用化されたOlivetti社の「ActiveBadge」システムが代表的である。これは建物内に配置された基地局が、ヒトが身につけたバッジから発信される赤外線を受光してヒトとその位置を認識するものである。赤外線の受発光素子はコストが低いというメリットがある反面、精度や利用範囲を広げるためには多数の基地局を密に配置する必要があり、普及するまでには至らなかった。携帯電話／無線LANの基地局情報を利用するものはセルID方式と呼ばれ、端末が通信のために接続する基地局の位置をそのまま端末の位置として利用するため、基地局の設置密度が位置情報の精度となり携帯電話で数100m、PHSや無線LANでは数10m程度である。NTTドコモの「いまどこサービス」や「iエリアサービス」などが実用化されているが、端末側に特別な装置が不要というメリットがある反面、屋内で利用するには精度が足りないという問題がある。NECの「SmartLocator」は精度が必要な場所では天井の照明に取り付けた赤外線タグを、広い領域をカバーする必要がある場合は無線LAN基地局を用いたセルID方式をそれぞれ用いることで、基地局設置コストと必要な精度のバランスを取れるように工夫している。

③ポジション型測位

ポジション型は、電波や超音波の到達時間から三角測量により座標を求めるもの、電波強度の受信パタンを利用するものなどがあるが、実用化されつつあるのは無線LAN基地局を利用したものである。これは、広く使われるようになった無線LANを媒介として無線LAN端末の屋内位置を求めるものである。代表的なシステムとして、電波到達時間を用いる日立の「AirLocation」やイスラエルのAeroScout社の「AeroScout」、ヘルシンキ大にて開発された電波強度を用いるEKAHAU社の「Positioning Engine」がある。いずれも理想的な環境で3m程度の測位を実現するとしているが、設定にかなりの労力が必要であり、利用環境によっては求める性能が得られない場合もありうるのが現状である。AirLocationやAeroScoutは測位のために特殊な基地局を複数台設置する必要があるが、測位対象の端末は通常のIEEE 802．11bに対応していれば良い。一方Positioning Engineは通常の無線LAN基地局を利用可能であるが測位対象の端末に受信した電波の強度を取得するためのソフトウェアを導入する必要がある。いずれのシステムも測位対象に無線LAN用通信モジュールを取り付ける必要があり、測位演算の大半をネットワークに接続されたサーバで実行することに特徴がある。

この他ポジション型には、超音波の到達時間を利用するAT&T Laboratories Cambridgeの「ActiveBat」システムや、GPS衛星と同じ信号を発する擬似衛星（Pseudolite）を屋内に配置するシステムが開発されているが、前者は数cmの精度を実現する一方で多数の基地局を必要とすること、後者は屋外で利用しているGPS受信モジュールをそのまま屋内でも利用可能となるメリットがあるもののシステムコストが非常に高く、実用化には至っていない。

また、加速度センサやジャイロからの出力を積分することで位置や姿勢を求める技術も実用化されているが、これらは他のシステムに組み込まれて相補的に利用されることが多い。例えばカーナビゲーションシステムにはGPS受信モジュールだけではなく加速度センサやジャイロが組み込まれており、GPS衛星が補足できない場合の車の動きを検知することに利用される。今後、小型／高精度化と共に多軸化が進むことが期待され、携帯端末への搭載が進むと考えられる。

空間理解や状況理解をさらに進めるために、分散したセンサのデータを効率的に収集し流通させるセンサネットワークが必要となり、米国の企業／大学を中心に研究が盛んに進められている。国内においては、総務省の「ユビキタスセンサーネットワーク技術に関する調査研究会」では2004年7月の最終報告書で、センサネットワークの実用化に向けた課題や今後の推進方策等をまとめている。この中ではセンサネットワークはもちろ

んのこと、その上位レイヤにおいてセンサデータの統合利用の必要性にも言及しており、今後、国内の研究が加速することが期待される。

１．１．３ キーテクノロジー

(1)音声認識技術

音声入力技術の発展に不可欠な、雑音に頑健な話し言葉音声認識のキーテクノロジーは、(1)雑音や発声変動、話題混合・遷移の確率的モデル化と隠れマルコフモデル、N グラム統計言語モデルとの融合、(2)大規模データから教師なし自動学習、とくに多言語認識への展開を容易にするための言語依存部分の自動学習、(3)複数認識手法の同時並列探索や融合法、(4)音環境の総合的理解、目的音声の分離抽出技術によるハンズフリー音声認識（マイク距離数メートル）、などがあげられる。現在、協力的な発話の音声認識において成功している大規模音声＆テキストコーパスを用いた統計的モデル学習のフレームワークは、次世代の話し言葉認識においても中心的な技術になることは間違いない。そこで周囲雑音や複数話者の同時発話、発話スタイルの変動、話題混合・遷移、などの現象を確率統計的にモデル化し、隠れマルコフモデルや N グラム言語モデルの枠組みと統合する技術を開発することがキーになる。

また協力的発話を対象とする場合は、多人数が読み上げた音声を収録することにより比較的容易に大規模音声データベースを構築することができ、またテキストコーパスはインターネットなどから収集することができた。しかし話し言葉を意図的に収集することは困難で、むしろ通常の人間対人間のコミュニケーション（放送、講演・講義、議会、会議、コールセンター、など）を録音して音声データベースとすることが望ましい。その場合は録音されたデータベースに人手でラベル情報（発話内容を表すテキスト）を付与することは分量が多くなると非現実的になる。また多言語へ展開する場合にもこのラベリングコストが特に大きな障害となる。そこで完全なラベル情報を前提としない、教師なし、の統計的モデル自動学習アルゴリズムの開発もキーテクノロジーとなる。なお著作権をクリアした大量のコンテンツを研究開発用に利用可能とすることも重要となる。

加えて CPU 速度やメモリ容量の進歩、グリッドやユビキタスなどの遍在化、を利用して複数の可能性を同時並列的に探索し、それらの結果を融合する新しい音声認識アプローチの本格的な技術開発も期待される。さらにマイクロホンに入力される信号から音源の数や種類、それぞれの持続時間などを抽出する音環境理解やそれに基づく音源分離技術もハンズフリー音声認識を支えるキーテクノロジーとなる。

(2)画像認識

画像入力の代表である文字認識では、手書き漢字認識をここ数年でクリアし、母国語以外の言語に対応する「多言語化」を 2010 年前後に実現し、さらにユーザのメモを認識する「自由手書き認識」、オペレーションを指示する「ジェスチャー認識」などがそれ以降に組み込まれることで実現される。

環境認識では、画像による顔や車両・標識の認識技術をベースに 2015 年前後を目処に次世代の先進安全自動車(ASV)が台頭する。画像センサ単一ではなく、「複数センサとの協調技術」の開発が信頼性向上の鍵となる。車載応用においては、フレームレートでの画像処理が必須になり、高性能な「画像プロセッサ」の開発が必要である。人物については、映像監視において重要な技術であり、「検出」、「同定」ともに 2010 年を目処に開発が進む。これらを組み合わせることで、2020 年には車両周囲物体(人物)の「行動予測」と「衝突回避支援」を実現させ、車社会における安全・安心社会を実現する。

(3)状況理解

ユーザの状況理解では、「音声による認識技術の精度向上」と「画像（表情）を併用」した感情認識が今後進み、ロボットなど機械とのインタフェースが 2008 年頃に実現する。その後、常識データベースの拡充と、上あらぶる機

器の普及により、ユーザの全行動の蓄積、リアルタイム分析が可能になることにより、ユーザ意図の推定が実用化される。

（4）空間理解

空間理解技術はセンサ、ネットワーク、統合処理の組み合わせとして捉えることができる。今後5年間程度は個々のセンサ個々の利用が中心でありその精度向上、小型化、低コスト化が進むものと期待される。特に屋内測位技術はニーズの大きさに比較してコスト／精度面で適したものがないのが現状であり、一段の技術開発が必要と考えられる。また RFID システムの読取率向上が必要なことも先に述べた通りである。一方で、個々のセンサから得られるデータは限定的かつ一面的なものであり、より広い領域や高次のデータが必要な場合には、分散した複数のセンサからのデータをネットワークを経由して収集し統合する利用方法が必須となると考えられる。これらは研究が本格化している段階であり、2010 年前後から実用化が始まるものと考えられる。また、セキュリティ／プライバシは、RFID システムはもちろんのこと、空間理解技術により得られた情報を利用する場面でも常に求められる技術であり、社会面や法制面を含めて整備される必要がある。

1．2　表現インタフェース

1．2．1　産業の現状

Webページや Webアプリケーションを端末に適応表示する技術として、Spyglass（現OpenTV） Prismのように記述言語・画像形式を変換し非PC端末向けコンテンツを生成する技術や、IBM Websphereのようにデータと端末毎に用意されたスタイルシートを用いて非PC端末向けコンテンツを生成する技術が実用化されている。また、携帯電話の性能向上に伴い、Operaのように PCと同じブラウザを携帯電話に実装する動きも見られる（図1－3）。

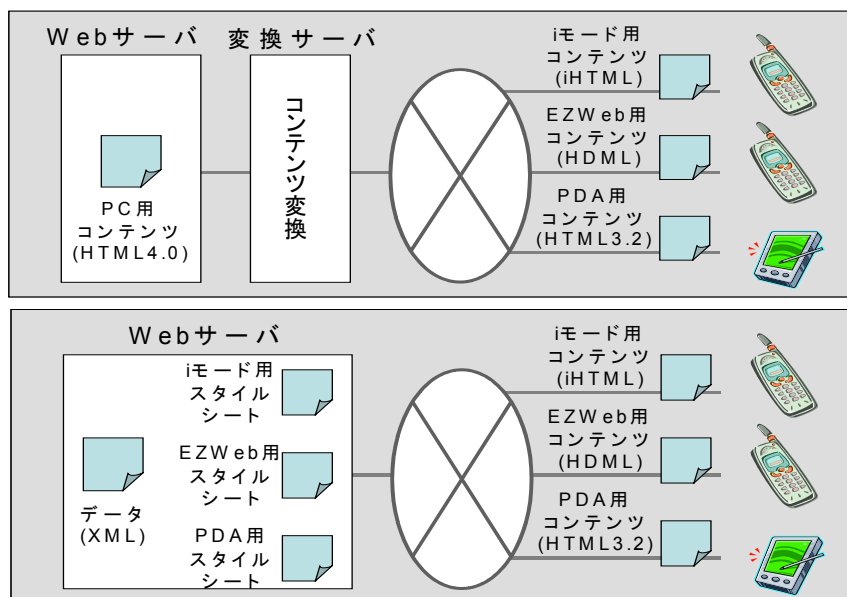



図1－3　Webページの端末適応技術の例

また、擬人化エージェントについては、コンピュータ上で情報ナビゲーションを行う秘書として提唱されて以来、ユーザとの自然なインタラクションを実現するインタフェース技術として研究が進められている(図1－4)。

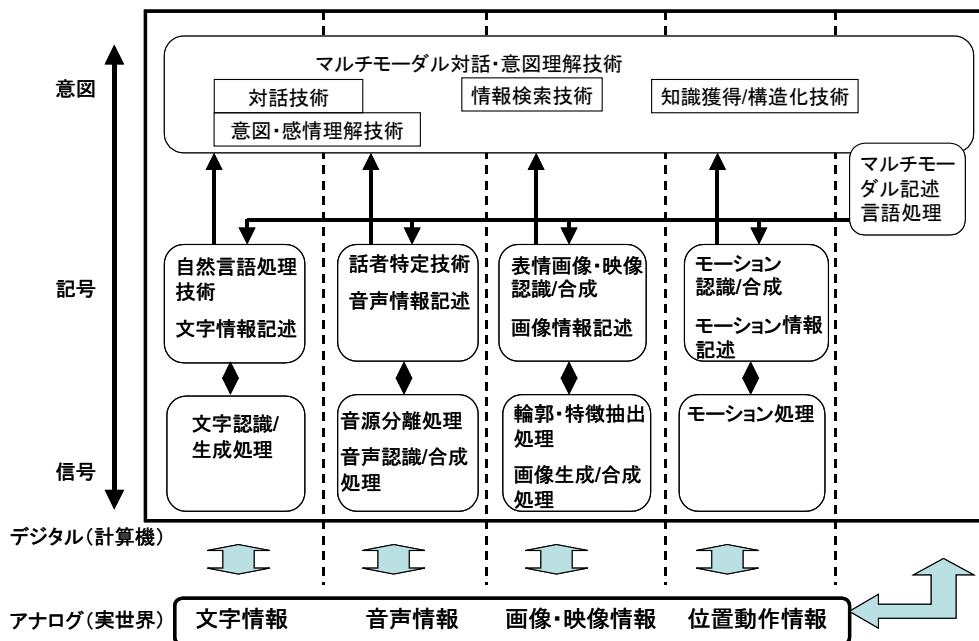



図1－4 擬人化エージェントの機能構成

この中でMicrosoft AgentをはじめWWWと連携させる技術も生まれたが、産業としての市場形成はほとんど進まず、最近ではロボット方面で応用が進んでいる。ロボットは1999年に発売されたAIBO（SONY）などペットロボットが市場の中心であるが、2003年には東芝のクリーナーロボット「トリロバイト」、テムザック「番竜」など徐々に新しいタイプのロボットなどサポートロボットも発売されてきている。サポートロボットの日本の市場規模は2010年には1兆5000億円に達すると日本ロボット協会は予想している(デジタルAV機器市場マーケティング調査要覧（2004年版）「家庭用ロボット、製品化の方向性)。家事サポートやセキュリティロボットが2006年頃から徐々に市場に投入され、次第に2足歩行型ロボットに進むと予想されている。これら人間とのインタラクションに必要な技術としてマルチモーダルプレゼンテーション技術が挙げられる。マルチモーダルプレゼンテーション技術は、顔の表情、声の抑揚、身振り手振りなどを組み合わせることで自然なコミュニケーションを人間とエージェントとの間で行なうための表現技術で、コンピュータ上では表情の研究やあいづちをはじめとするノンバーバル情報によるコミュニケーションの活性化など基礎研究が進められている。そしてロボット分野で身振り手振りと音声を組み合わせた基礎研究が進められている。

表現インタフェースで自然な対話インタフェースを実現する上で今後重要となる音声合成技術の市場規模は、世界的に見て 2003 年に 250 億円程度となっており、ほぼ毎年 25％程度の成長が見込まれている。利用動向としては、電話応答装置などにおけるシステムの応答音声出力やカーナビゲーションにおける案内音声出力に加え、携帯電話におけるメール等の読上げ、アクセシビリティ向上のための WEB の読上げなどが挙げられる。特に、読上げ対象となるテキストが固定ではないものに対しては、録音音声では対応できないので、利用するメリットが大きい。

１．２．２ 今後の見通しと課題

様々なコンテンツ（データやアプリケーション）をネットワーク経由で利用できるソフトウェア環境の整備、ネットワークの常時接続化、ネットワークアクセス機能を持つ端末の多様化により、身近な端末でネットワーク上のコンテンツを利用する情報環境が一般化する。さらに、ネットワークの広帯域化、端末の高機能化が進むと推測される。このような情報環境下では、コンテンツユーザの視点でコンテンツ発見と利用の困難さが、また、コンテンツ

提供者の視点でコンテンツ開発コストの増大が、それぞれ課題となる。技術的には、NW や端末といったリソースやユーザに応じコンテンツを適応させコンテンツ発見と利用を支援する技術、これを実現するコンテンツを低コストで開発する技術が求められる。まずは、NW や端末といったリソース適応から研究が進み（～2006）、その後ユーザ履歴・状況適応（～2009）、環境適応（～2011）、ユーザ意図適応（～2013）と適応対象を広げながら技術発展すると考えられる。

表情の生成や音声合成といった個別要素技術の研究があと数年継続されるが、その後個々のモダリティの品質向上に伴い顔画像と音声のズレなどが気になるようになることから、複数のモダリティの合成技術とその評価技術がさらに重要になる。そして利用分野としては、携帯電話をはじめとする PC 以外における利用、ロボット分野、そして社会エージェントに代表される複数のエージェントを用いたシミュレーション分野の研究などへの応用が進むと考えられる。

モダリティの合成には、「①口形状の生成を含む表情合成」や「②表情と音声の同期を取るシステム」と「③自然さを評価する評価手法」にはじまり、「④表現情報を統合的に記述する記述言語仕様」が近い将来の研究ターゲットとなる。現時点では記述言語は東大石塚研で開発している MPML、マルチモーダル記述言語として豊橋技術科学大新田研で開発している XISL などが有名であるが標準化は進んでおらず、また評価では自然さを基準として扱うためまだ基礎研究の段階である。これらの基盤技術をもとに端末に依存しない機器操作環境の一実現方法として擬人化エージェントが用いられるようになると予想される。NW に接続されたあらゆる端末の操作を同じ擬人化エージェントを介して操作できるようになれば当初考えられていた電子秘書の実現ができるが、このためにはユビキタス環境下での統一的な機器操作の仕様の構築など大きな課題が数多く存在する。

またロボット分野では、ロボットが人と自然なインタラクションを実現するため自然言語分野の技術や「⑤身振り手振りを盛り込んだマルチモーダルコミュニケーション技術」の研究がまず盛んになり、その後 2010 年頃にかけてエンターテイメントやコミュニケーションを主な役割とするヒューマノイドロボットへの応用が進むと考えられる。さらに擬人化エージェントのコミュニケーション技術に関しては、一度に複数の人間やエージェントとインタラクションを行なう「⑥複数話者環境に適応したマルチモーダルコミュニケーション技術」などに進むと考えられる。現時点では複数のマイクを用いた音源分離による複数話者が同時に話す言葉を分離する基盤技術はできつつあるが、グループコミュニケーションとして解釈し対応するにはユーザが合図を送る必要があるなど基礎段階と言える。

そしてコンピュータ上の仮想空間に3D のエージェントを多数配置し、実世界ではできない災害避難シミュレーションをエージェントで代行して行なう社会エージェント分野の研究も危機管理シミュレーション手法のひとつとして盛んになる。このために「⑥擬人化エージェントを仮想3次元空間上に多数配置し、制御する技術」が重要になる。大規模な擬人化エージェントを用いた実験としてはデジタルシティ京都において京都駅を 1000 人の避難を想定したシミュレーションの研究があるがあくまで研究初期の段階といえる。

対話における基本技術である音声合成における第一の課題は、音質の一層の改善であるといえる。近年の音質の向上により、音声合成の適用もコンスタントに広がってきており、今後も、電話などによる自動応答サービスにおいては、幅広い人々へ、24 時間のサービスを行うという観点から、音声合成の適用が拡大していくと考えられる。しかし、これらコスト面でのメリットがあると考えられるアプリケーションにおいても、音質面の問題から採用されていない場面もまだ多く見られている。その理由としては、継続して利用していると疲れてくるなどの問題が挙げられ、さらに広い用途での利用のためには、人に疲労感を与えないといった観点が必要になってくる。また、ヒューマンインタフェースとしての擬人化エージェントにおいては、音声出力として音声合成機能と組み合わせることが有効であると考えられる。この場合には人間らしさを求められ、音質の人間らしさと共に、人間と同様の感情表現や個人性表現、話し言葉への対応などが問われることになるだろう。音声合成の表現力としての実現レベルは、現段階の単に音を生成して読上げる機能から一歩進んで、2006 年ごろには自然な対話調の音声を合

成する技術が、2009 年ごろには感情音声の合成技術が実用レベルとなる見通しである。また、人に疲労感を与えないためには、メッセージ中の重要なポイントを抽出して強調するなどの工夫が必要であり、このために必要となる文脈情報を利用した言語処理技術は 2007 年ごろに実現される見通しである。国際的な競争力を持たせるためには、多言語の音声合成への対応が必要となり、言語間コミュニケーションとしての自動通訳技術においても、各言語での音声合成技術が必要となる。日本語以外の言語への対応においても、各言語に対する知識の獲得が重要なポイントであり、各言語への対応力を付けるための方策が必要である。

これらの技術の実現のために、それぞれの問題に個別に対応していくことは、将来的に対応すべき対象が膨大になっていき、対応のための工数不足に陥ることが予想される。この問題を解決するためには音声認識の場合と同様に、多数話者による大量の対話調音声データベースや感情音声データベースを構築し、自動的に対話調音声としての知識獲得や文脈利用手法の学習、感情表現のための方式習得などを行い、統計的な手法などを用いて処理していく枠組みが必要になって来ると考えられる。これらのデータベースの構築には膨大な工数と費用がかかるため、産学官が連携した共通のデータベース構築が必要であると考えられる。多言語への対応に関しても、同様に共通のデータベースを構築し、自動化により知識獲得できる方式の開発を支援していくことが望ましいと考えられる。また、今後、音声合成の品質が向上していくと、データベースのオリジナルの音声との判別がつきにくくなることが予想され、これらのデータベースの利用に関する著作権・肖像権などの問題が浮上してくることが考えられる。個人性表現技術が向上する 2010 年頃までには、音声データベースを音声合成に利用するにあたっての条件に関して、研究開発・製品開発を促進する方向での法整備などが望まれる。

１．２．３ キーテクノロジー

適応表示のためのコンテンツ発見技術では、ユーザの履歴、状況、意図などに基づくコンテンツフィルタリング技術、コンテンツから必要な情報を発見するための表示・インタラクション技術がキーとなる。また適したコンテンツを低コストで生成する技術では、画面サイズに対するスケーラビリティやマルチモーダルに対応したユーザインタフェース技法を実装した部品や、機能毎、アプリケーション毎にデザインされたユーザインタフェーステンプレート、生産性の高い統合開発環境や開発フレームワークといった技術がキーとなる。適応対象の拡大に合わせた上記キーテクノロジーの研究が求められる。さらに、コンテンツユーザの利便性向上、コンテンツ提供者の生産性向上、技術開発の選択・集中の観点から、将来的には端末種類の体系的整理や端末種類毎の仕様の標準化も求められる。

次に、擬人化エージェント実現のための技術としては、当面マルチモーダルな表現情報を統合的に扱うシステムとその記述言語、そして評価技術が今重要な技術になる。2010 年頃にかけてはエージェントが端末非依存で人間のサポートを行なえるようにする機器間の操作インタフェースの統合などが重要となると考えられる。他に社会エージェント分野は、災害時の避難誘導といった防災や安全管理分野に重要な技術で、大規模なエージェントシミュレーション技術はキーテクノロジーと言える。さらに多数でのグループコミュニケーションを実現するコミュニケーション分野などの実現により、擬人化エージェントが多方面で重要な役割を担うことができるようになると考えられる。

重要コンポーネント技術である音声合成はテキスト処理と音響処理の大きく2つの技術領域に跨る。テキスト処理部分は言語ごとに固有の内容が多くを占めており、音響処理のうちの韻律制御についても言語ごとに特徴を持っている。そのため、日本語固有の知識の蓄積を生かせる利点があるが、逆に多言語展開はあまり容易ではないと言える。技術的には、音響処理において、声の高低の制御が容易でかつ自然性の高い波形重畳方式に加えて、波形に信号処理を施さずに接続する波形接続方式により肉声感の高い音声合成方式が開発されてきており、統計的な手法として隠れマルコフモデルを音声合成に適用する研究も進められてきている。今後の音声合成のキーテクノロジーとしては、(1) 読み上げ調から対話調表現、感情音声の実現による表現力の向上、

(2) 話し言葉への対応や、文脈情報利用などの言語解析技術の向上、(3) 多言語への対応、が挙げられる。これらの技術の効率的な性能向上のためには、多数話者による大量の音声データベースから、自動的に知識獲得や学習することが必要となると考えられる。表現力の向上については、2006 年前後には対話調の音声についての学習方式が、2009 年前後には感情音声についての学習方式が必要となってくる。合成というメリットを生かして、特定個人を忠実に表現する技術から特定の人物ではない新しい個人性表現へと展開していくものと考えられる。言語解析技術としては、今後数年では文脈を考慮した解析技術、重要語の抽出レベルにまで達していくものと考えられ、話し言葉の解析技術の開発が進むと考えられる。多言語化については、今後数年は徐々に主要言語への個別対応という形で進展し、2011 年頃には十ヶ国以上の通訳に対応するため、言語間共有知識の有効利用方式、知識獲得方式などの研究開発が必要となるだろう。

１．３　インタラクション技術

１．３．１　産業の現状

（１）GUI、実世界インタフェース

Xerox Alto の登場（1973）以来、コンピュータのユーザインタフェースに GUI が取り入れられてから 30 年が経った。その間、Windows ３．1→95/98→XP や AppleLISA→Macintosh→Mac OS X、あるいはマイナー路線として Amiga、NextSTEP、OS/2、BeOS など多くの OS で GUI が採用されてきた。コマンド操作が主流と思われている UNIX/Linux 系でも、昨今では充実した GUI を備えている。多大の技術進展が見られたが、マルチウィンド、WYSIWYG、ポインティングデバイスといった基本的なコンセプトはこの 30 年間ほとんど変化していない。GUI からのパラダイムシフトが起きる好機の一つとして Internet の普及があったと考えられるが、結局は Web 向け UI も旧来の GUI コンセプトを忠実に継承したものとなった(図1－5)。

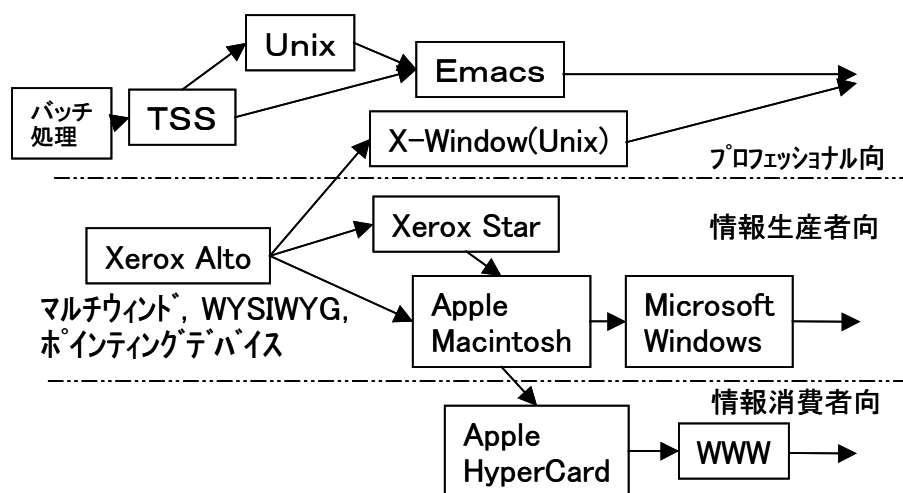



図1－5　GUI技術の変遷

現状の GUI 市場は、WindowsTM が圧倒的な勢力を誇っており、そのシェアはクライアント OS 市場の 90%以上、調査によっては 97%以上であると言われている（ちなみに Macintosh：1。49％、Linux：0。51%である）。

（２）翻訳・通訳

ブロードバンドが普及し、個人でも世界中の情報に触れる機会が増えるにしたがって、個人向け翻訳ソフトの

売り上げが伸びている。また企業内でもグローバル化が進むにつれて世界を相手に情報の収集発信を行なう必要性が増大しており、機密文書も安心して翻訳できる／グループ内で辞書が共有できることを売りとした企業向けのサーバシステムが発売されつつある。さらに翻訳作業を業務とする翻訳業界についても、特に近年ソフトウェアやWebサイトを各国向けに翻訳するローカリゼーション分野の市場を中心として急速に拡大しており、今後この分野の伸びとともに翻訳・通訳システムの利用機会も増える傾向にあると見られる。実際、翻訳・通訳に関する日本国内の市場規模は金額ベースで2003年698億円であり、今後も年17.1%で成長を続けて2008年には1536億円規模に達すると予測される。また音声認識、音声合成を組み合わせた通訳システムについても、その多くは試作段階であるものの携帯端末上で実働するシステムの発表が数多くなされている。

翻訳・通訳分野の技術動向としてはまず、翻訳辞書の語彙拡充が着実に進められていることがあげられる。例えば商用システムの多くが100万語以上の基本辞書を提供するようになっており、そのペースはますます加速する傾向にある。また翻訳手法としては現在でもルールベースの手法が主流であるが、部分的に事例ベース手法や統計ベース手法を組み合わせる手法も一般的になりつつある。さらに翻訳対象と同じ分野の文書を参照して、その分野に適した翻訳を行なうといった各種適応化機能についても盛んに研究されている。なお各種の言語対の間で商用の翻訳システムが開発されているが、日本語を対象とするシステムはほとんど国内メーカ産の製品をベースとしており、この分野における日本の技術力は国際的にみてもトップレベルにあると言える。

１．３．２ 今後の見通しと課題

（1）GUI、実世界インタフェース

過去 30 年ほど、コンピュータ処理能力は大雑把にムーアの法則（2年で倍増）にしたがって向上してきており、それにつれてユーザインタフェースもテキストベースから GUI、さらにはマルチメディア利用という方向で発展してきた。2010 年以降には本法則に限界が来ると予想されているが、それまではほぼ同様の性能向上が続くと考えられる。ユーザインタフェースもさらなる表現力の向上を目指し、アニメーションや動画/映像の利用などが一層進むと考えられる。

GUI の技術進化としては、例えば Microsoft 社が従来から提唱しているような Chrome Effect や Xerox が提唱するいくつかの情報視覚化手法に見られるように、まずは擬似 3D 的な表現がユーザインタフェースに取り入れられることが予想される（この中には、現在研究されているZUI(ズーミング UI)も含む）。現在、Microsoft 社のロードマップで時期OSとして位置付けられているLonghornでは、画面描画機能はAvaron、その中でGUI部はAeroと呼ばれているが、そこでは 120dpi 以上のディスプレイがサポートされ（現行約 95dpi）、ウィンドウなどを立体的に表示する技術が実用化されると考えられている。現時点で Longhorn は 2005～2006 に出荷される予定となっているが、一般利用者への公開を経た普及は 2008 年頃になると予想されている。

この他、2．5D 化あるいは 3D 化への指向は、Mac OS の Aqua から Tiger へと移る Mac OS の発展、Java における Project Looking Glass などの試みでも見て取れる。このことから考えても、2007～2009 頃には PC 上の GUI の大きな流れになると考えられる。

ただし、今後の社会のユビキタス化の流れを受けて、一般に利用される端末も、PC からモバイル端末、情報家電、公衆端末などへと多様化していくことが予想される。前述のようにPCの世界で圧倒的強さを誇るWindowsであるが、今後、端末多様化の影響を受けて、そのシェアは 2007 年までに 58%まで落ち込むという予想もある（その一方で、例えば通信機向けの Symbian OS は 17%まで伸びる（IDC 予測））。

端末の多様化に合わせてユーザインタフェースも多様化すると考えられる。大きくは、ハイパフォーマンス機の利用を前提とした現行 GUI のリファイン形と、リモコンなどシンプルな入出力装置による家電 UI の発展形に2分されていくと予想される。

モバイル端末の性能向上は目覚しく、そのユーザインタフェースがどちらの形態をとるのかはにわかには予想

が難しい。例えば日本における携帯電話のハイエンド機の傾向を見る限り、小画面/キー入力という制約にもかかわらず、マルチタスク化や Web ブラウザの搭載など、高機能 GUI を指向していると考えられる。

また、現行の ITS 製品やエージェントロボット研究に見られるように、タスクや状況は限定されるもののマルチモーダルインタフェースの実用化が進むと考えられる。

今後ユビキタスインフラの整備により各種センサや CPU が環境に埋め込まれるようになると、人間と実世界との相互関係がユーザインタフェース技術に取り込まれるようになっていく。特に、近年は RFID の普及が加速しており、これを利用してモノに対する人間のアクションを直接コンピュータへの入力にする試みが盛んである（例えば、美術館の展示作品に RFID が埋め込まれており、来場者が近づいたときにその作品に関する情報が来場者の端末に表示されるなど）。これらの技術は実世界指向やタンジブルインタフェース、あるいは実物体インタフェースと呼ばれ、2～3年後の実用化を目指した研究が進められている（図1－6）。

またユビキタス社会が成熟すれば、人の置かれた位置や状況、意図などを考慮して、適切なサービスや情報が提供されるようになると考えられている。このとき、そのサービスや情報をユーザがそのときに利用できる端末に、適切な形で提供するのが環境型インタフェースである。現在、環境型インタフェースに関しては、ジョージア工科大の Aware Home、MIT の Oxgen、UCB の SmartDust などの研究プロジェクトが知られている。ただし、これらの技術の実用化には状況をセンシングするための高性能、安価、超小型センサとともに、それらセンサ情報の流通/処理インフラ（センサネットワーク）が必要でり、実用化のレベルに達するには 5～10 年の期間を要すると考えられる。

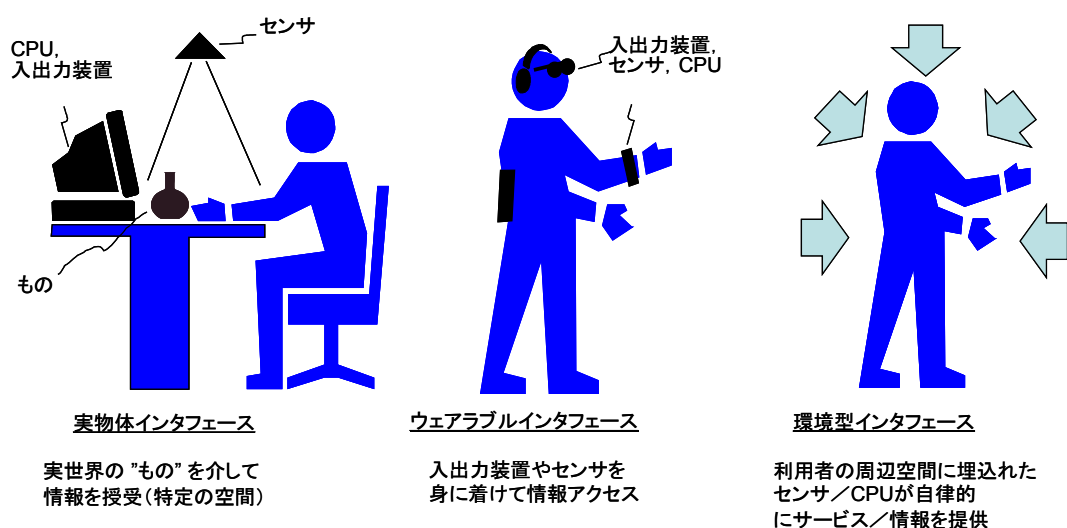



図1－6　インタラクション技術の進展

（2）翻訳・通訳

今後も引き続き、一般家庭から企業に至るまでグローバル化が進んでゆくことは明らかであり、翻訳・通訳機能に対する期待もますます高くなると考えられる。また総務省はu－Japan構想の中でアジア経済圏をブロードバンドで結び活性化を図る「アジアブロードバンド計画」を推進しており、2010年には日本とアジア各地域との間にコミュニケーションの場が整備される予定である。国土交通省も「観光立国行動計画」の中で外国人旅行者の日本国内旅行を支援する自動通訳機能付き携帯端末の必要性を述べており、より直接的なコミュニケーションの場においても翻訳・通訳機能の利用シーンが想定されている。このように翻訳・通訳機能は、潜在的に言語的な障壁を抱える我が国がグローバル化の流れに取り残されないための公共サービスの一つとして位置付けられ、国策として研究開発を進めるべき領域の一つであると考えられる。

さて翻訳・通訳機能は主に個人、一般企業、翻訳業界の各々にユーザを見出すことができるが、利用場面別

で見ると外国語文書の読解支援、外国語文書の作成支援、リアルタイムなコミュニケーション支援という利用形態に分類できる。

まず読解支援について考えると、多少不自然な翻訳結果であっても外国語文書の大意を素早く掴むためには有用であり、現在でも個人や一般企業の中で活用されている。ただし内容の詳細を吟味するには原文を読み直す必要がある場合が多々あり、本格的な実用化にはさらなる翻訳精度の向上が必要である。また作成支援について考えると、この形態は精度的な問題のため利用可能な場面が極めて限られていると言える。現在、特にお手本となる例文や過去の翻訳結果の再利用を支援する翻訳メモリや辞書引き機能を組み合わる形で作成支援系が提供されているが、再利用可能な翻訳結果がない場合には結局翻訳機能に頼らざるを得ないため、本質的にはやはり翻訳精度の向上が課題となる。

ここで翻訳精度の向上には、自然言語に一般的に含まれる様々な解釈の可能性から正しい解釈を選び出す技術が必須である。人間は文脈や一般常識を考慮した深い意味解釈を行なうことで正しい理解に至っているが、一文だけしか処理単位とせず限られた狭い知識しか利用できないシステムにとってこのような言語理解は極めて難しい課題である。その精度を高める方向性として一つには言語知識や一般常識知識の拡充が考えられるが、汎用的な知識の構築にはその知識表現や構築手法等に大きなブレイクスルーが必要である。このため、まずは特定の分野を対象とした限定的な知識の拡充に焦点を当てて知識獲得や分野適応技術の開発に力点を置く方が現実的と考えられる。また別の方向性として、一文単位の処理対象を拡大して文章全体で矛盾のない解釈を導き出す文脈処理技術がある。特に読解支援では予め文書全体を参照することができるのでその適応性は高いと思われるが、様々なレベルの文脈を扱う枠組みは未だ研究段階であり、更なる研究開発が必要である。

コミュニケーション支援については基本的に読解支援と作成支援の組み合わせであり、課題も同様に精度向上策にあると考えられる。ただし逐次的でリアルタイムな相互の情報交換の場で利用されることを考えると、問い返しなど対話相手とのやり取りが可能であるという特徴がある。この特徴を利用し、対話を通じて翻訳誤りによる誤解を解消するプロトコルやHI機能の開発といったテーマも重要な研究課題となりうる。

その他の課題として多言語化が挙げられる。現在、日本国内における市場は日英間翻訳に偏っているが、今後アジア言語を中心にそのニーズが高まることが予想される。特に中国語については経済的な関係が強化される一方で言語的な専門家が不足しており、現在既にその必要性が高まっているが、日英翻訳システムに比べてさらに精度が低いという問題がある。

１．３．３　キーテクノロジ

（1）GUI、実世界インタフェース

GUI の 3D 化に関しては、まずは高性能画像処理が必要であり、これに向けたアルゴリズム、専用チップの開発が急務である。また、単に現行UIを3D表示するだけでは、目新しさだけに終わってしまう可能性がある。目的に応じた真に効果的な 3D 表現技法も研究開発のターゲットとなる。モバイル端末向けのユーザインタフェースでは、まず小画面、限定された操作デバイスという制約の克服が求められ、これを解決するための表示、操作技術がブレークスルーの鍵になる。また、開発コスト低減という視点からは、例えばPC向けに開発されたUIやコンテンツを、モバイル端末向けに自動変換する技術も求められる。

環境型インタフェースに関しては、まず実世界のものとのやりとりを介した情報の授受を実現するため、マルチモーダルインタフェースや実物体インタフェースの実現が必要となる。さらに特定の場所に依らずサービスを受けるためには、入出力装置や利用者の状態／状況を検知するセンサを常に身につけておく必要が生じるため、ウェアラブルインタフェースの技術も必須となる。また、上記でも触れたように環境型インタフェースではユビキタスインフラの普及／高性能化が前提となるため、高性能、安価、超小型センサや、それらセンサ情報の流通/処

理インフラ(センサネットワーク)を構築する必要もある。

また環境型インタフェースでは、利用者にとってわかりやすいだけでなく、状況によっては「邪魔にならず」「さりげなく」情報やサービスを提供する技術が必要であり、心理学やアートフォームなども含めた学際横断的な検討が必要になる。

(2)翻訳・通訳

翻訳精度を向上させるためのキーテクノロジーとしては、1)言語理解技術や2)分野適応技術があげられる。言語理解技術に関する具体的な技術項目としては、さらなる高精度化があげられる。近年統計モデルや学習理論に基づいた言語解析(形態素解析、構文解析)技術が確立されつつあるが、ルールベース手法との融合等によりさらなる高精度化が期待される。また文内の情報だけを対象とするのではなく、その周辺の文や文書全体を参照し、全体で無矛盾となる解釈を導出する文脈処理技術も重要な課題である。ここでは例えば「こそあど」言葉のような指示語が実際に何を指しているかを解析したり文内で省略された要素を文外から補完したりする照応解析や、文間の関係を認定して文書全体の構造を解析する文章構造解析が要素技術としてあげられる。さらに翻訳精度に直接影響する技術項目として、個々の単語に割り当てられた複数の語義からその文脈に相応しい語義を選択する語義選択(あるいは訳語選択)の問題がある。この問題に対しても各種の解析結果を統合した新たな手法によるブレイクスルーが期待される。

また分野適応技術に関する具体的な技術項目として、各々の分野に応じた翻訳知識を(半)自動的に構築する分野知識構築技術が上げられる。複数の分野毎に人手で分野知識を構築することはコストが高く非現実的であるため、この技術の重要度は高いと考えられる。また与えられた文書の属する分野を認定する分野推定技術がある。これは入力された文書に対して適応すべき分野知識を決定するための技術である。さらにコミュニケーション支援での用途を考えると、翻訳対象となる文の分野が逐次変化すると想定されるため、動的に適応すべき分野知識を推定し、その分野に応じて分野知識を切り替える動的適応技術も重要な技術項目である。

さらに3)多言語化もキーテクノロジーの一つとして取り上げるべき項目と考えられる。ここでは多くの言語を対象とした迅速な開発が要求されると予想されるため、なるべく人手をかけずにシステム構築が可能な方式の開発が望まれる。

2. セキュリティ

2.1 プライバシ

2.1.1 産業の現状

産業の電子化によってデータのコピーが容易になるにつれて、個人情報漏洩による被害が拡大しており、漏洩に起因する金銭的な被害も報告されるようになってきた。このような状況を背景として2003年に個人情報保護法が公布され、2005年4月からは全面施行される。このような法制面の対応と共に、技術進歩を踏まえた技術面での対応も必要である。

プライバシー保護に関する技術的な対策の一つに情報の暗号化がある。データベースに蓄えられる情報やインターネット上を流れる情報は暗号化することによって、その復号鍵を持った者のみがアクセス可能となり、プライバシー情報の漏洩を防止できる。現在ではクレジットカード番号など重要な情報の送信を行う際、電子メールや Web サイトでは情報を暗号化して送信することが普通となってきている。しかし、たとえ暗号化による対策を施しても受信側のメールアドレスなどの個人 ID 情報や、送信側の IP アドレスなどの計算機 ID 情報は漏れており、

これらをトレースすることは可能である。更にトレースすることによって、それらの ID 情報が暗号化されていない電子メールなどの情報と関連が付き、関連付いた情報の内容から個人を特定する個人名や住所などが分かることにより、個人情報が漏れる脅威が存在する。このような脅威は技術を理解していれば、比較的容易に実現可能であるため、将来的には顕在化することが予想される。

２．１．２ 今後の見通しと課題

電子社会でのプライバシー保護とは、電子社会の中で趣味、志向など個人に付帯する属性（プライバシー情報）を特定個人に結びつけないことと定義できる。これを実現するのがプライバシー保護技術である。従来はプライバシー保護技術として暗号技術が用いられてきた。しかし、暗号技術だけで完全な対策とならないことは前述の通りである。そこで完全なプライバシー保護を実現する技術として、匿名通信基本技術が理論レベルで提案されている。匿名通信基本技術では暗号技術では解決されなかった受信側のアドレスや送信側の IP アドレスの秘匿の問題を解決しており、在宅電子選挙システム実現への理論的な根拠となっている。しかし、現在提案されている方式は計算量や通信量の点で実現が困難であり、顕著な実用化事例はまだない。今後はこれらの問題が徐々解決され、完全な匿名性を実現するプライバシー保護技術としてアンケートシステムや視聴率調査システムなどの志向調査システムとしても実用化されて行くものと予想される。

２．１．３ キーテクノロジー

プライバシー保護を実現するキーテクノロジーには匿名通信基本技術がある。匿名通信基本技術は受信者のアドレスと送信者の IP アドレスを秘匿した通信を実現する技術であり、代表的な方式としてオニオンルーティングがある。オニオンルーティングはネット上のパケットをパケット毎にランダムに変化させた経路を通すことにより送信側のアドレスを秘匿し、かつ送信先を含めて何層も公開鍵暗号で暗号化することで受信側の IP アドレスを秘匿する技術である。経路上のノードでは転送されてきたパケットの最上位層が復号でき、復号した結果から次の転送先と次層の暗号化データを取得して、転送先となっているノードに送信することにより実現される。しかし、この方式は経路上のノードの演算処理負担が重いだけでなく、何層もの暗号化を施すために経路長に応じてデータ量が増大するという問題点がある。このため 2006 年頃までは 10 名から 100 名程度の規模でしか利用できないと考えられ、顕著な実用化には至らないと予想される。実用とするためにはこれらの問題点を解決する高速化技術、軽量化技術が必要であり、そこには何らかのブレイクスルー技術が不可欠であると考えられる。一方、これらの技術的な問題が 2007 年以降解決できれば 1000 名から 1 万名規模で利用できるものと予想され、ネット上で完全な匿名性を実現したアンケート収集や視聴率調査などの匿名志向調査システム等での実用化が可能となる。また電子選挙のような大量の票（メッセージ）を匿名のまま集計処理するシステムを想定した Mix ネットと呼ばれる匿名通信基本技術が提案されている。Mix ネットではメッセージを多重に暗号化するとともに Mix サーバと呼ばれる経路上のサーバでメッセージの最上位層を復号し、かつ復号したメッセージの順番をシャッフルして次のサーバに送信することを繰り返し、最終的に集計サーバまで転送することにより、送信者の IP アドレスを秘匿することができる。この方式もオニオンルーティング同様、厖大な処理時間が掛かるため、Mix ネットを用いた在宅電子選挙は現在高々1万人程度の有権者にしか対応できていないという状況にある。

２．２ 認証

近年、テロの脅威や凶悪犯罪及び窃盗の増加にともない、公共機関、企業の重要施設及び一般住宅における入出管理の徹底が求められるとともに、ネット上での個人情報保護や機密情報流出防止も急務となっており、個人認証技術の重要性が高まっている。その中でも、バイオメトリクス認証は、本人しか持ち得ない情報あるいは特徴を個人認証のためのキーとして積極的に活用する技術であり、今後、暗証番号やICカードの代替手段として必要不可欠な技術となってくると予想される。

バイオメトリクスには大別すると顔、虹彩、指紋、静脈、DNAのような遺伝的あるいは身体的バイオメトリクスと、音声、署名、歩行といった行動的バイオメトリクスとに分けられる。

前者は、経時変化が生じにくく個人特定の再現性も高いために、業務用を中心に多くのメーカがさまざまなタイプのセンサやシステムを開発し実用化している。中でも、指紋認証システムは、建物の入退出、エレベータの動作制御、携帯電話の所有者認証などですでに実用化されている。一方、虹彩認証システムも、企業や官公庁の入出管理などで実用化されている。また、静脈認証により銀行の不正引き出し防止なども実用化されつつある。

一方、後者は、採取時の環境の影響や生体特有の変化が常に存在するために、充分な認証精度が得られないのが現状である。その良さは多くの人が認めているものの、実用化にはまだかなりの時間がかかることが予想され、どちらかというと大学などでの長期的な研究が中心となっている。

今後の方向性としては、認証精度を向上に向けた開発と、利便性の向上に向けた開発の2つの方向性がある。

前者の方向性としては、複数のバイオメトリクスを利用するマルチモーダル化の流れが出てきている。その一例として、国土交通省、新東京国際空港公団と日本航空による虹彩認証及び顔画像認証の組合せによる搭乗手続きの自動化の試み等が行われている。また、究極的には、DNA のような情報まで使うと予想される。具体的には、DNAの情報を基に、鍵となる「DNA-ID」を作成し、それをもとに認証する。但し、DNAの抽出等に対し多くの時間やコストがかかることが課題である。

一方、利便性の向上に向けた開発の方向性として、誰でも使えるようにする機能（フールプルーフ）と予想外の事象に対する機能（フェイルセーフ）に向けた開発が求められている。

まず、フールプルーフ機能としては、接触型から非接触型へ、認証のための手続きを陽に行う方向から、通常の動作の中での認証情報の採取に進化すると予想できる。例えば、指紋では接触センサに対しユーザが陽に指を置かないといけないが、今後、虹彩、顔等の非接触型認証技術の進化により、ドアの通過時や画面を見る時点に必要な認証手続きが実行されることも可能になる。また、誰でも使えるように複数バイオメトリクスの併用といった方向に進むことも考えられる。

一方、フェイルセーフ型機能として、バイオメトリクス認証の廃棄と代替手段を用意することが挙げられる。一般に、身体的バイオメトリクス情報は盗まれた時の廃棄（リボーク）をすることができないことが課題になる。この課題を解決するために、身体的バイオメトリクスと行動的バイオメトリクスを併用するバイオメトリクスが有効となる。例えば、顔と音声を併用することで盗まれた時の廃棄と代替への対応をするといった取組みもなされていくと予想される。

【参考文献】

・半谷精一郎、“バイオメトリクス認証技術の動向とセキュリティシステムへの応用”，映像情報メディア学会誌，Vol.58, No.6, pp.750-752, (2004).
・特許庁総務部技術調査課編、“電子ロックシステムに関する特許出願動向調査”、（2001）
・国土交通省　平成14年11月5日記者発表「航空チェックイン手続きの電子化等に関する実証実験」

２．３ アクセス制御

まず「アクセス制御」とは何かについて述べる。「アクセス」の情報セキュリティ的定義は、ある情報の読み出し／更新、システム利用／操作を指す。それらをある許可されたユーザのみが可能とする技術が「アクセス制御」技術である。

具体的には、(1)コンピュータへのログイン、(2)データベースへのアクセス、(3)会員専用 WEB ページへのログイン、Firewall（外部 NW から内部 LAN へのアクセス制御)などがあげられる。また最近では、(5)家電の操作、(6)迷惑メール受信拒否、(7)有料コンテンツの視聴制限、(8)家も含む入退室管理(e.g. 空港の機密エリア)、(9)車のキー(イモビライザの拡張)、(10)個人情報の保護（e.g. 電子カルテ)など広範囲にわたるものと考えられる。

あらゆる機密情報が電子情報化されてコンピュータ上で管理されるようになってきており、その重要性はさらに強まっていくものと思われる。アクセス制御を実現する上で重要となってくる「個人認証」技術は、その情報(もしくはある物理的なもの)にアクセスしようとしているユーザが、正当なユーザかどうかを確認する技術で、最も重要となってくる技術である。特にユーザの生体情報に基づいて認証する「個人認証」は、その利用できる生体情報が指紋だけから虹彩、掌静脈などに広がりを見せている。

またユーザが、生体情報とは異なる意味での「秘密の情報」を保持しているかどうかを確認することにより、個人認証を行うアクセス制御も引き続き利用される。これは、従来のいつも決まったパスワードを入力するという形態から大きく変わってきている。保持する秘密情報に基づき、認証する側からのデータ（チャレンジデータ）に対する回答（レスポンスデータ）を作成し、それを入力するというものである。特にネットワークを介して行われるアクセス制御には、この技術が多く使用されている。チャレンジ－レスポンス認証と呼ばれるもので、ワンタイムパスワードと呼ばれる技術の一種である。その際に根幹をなす技術が公開鍵暗号である。公開鍵暗号には、大きく秘匿暗号とデジタル署名の2つの機能にわかれる。アクセス制御には、主にデジタル署名技術が利用されることが多い。

公開鍵暗号は、現在、数論の難しい問題に安全性の根拠を置く RSA 暗号・楕円曲線暗号が主流である。また安全性証明技術などの発展をとげて、安全性が強化されており、解読者にとって最も有利な環境下でも安全である暗号方式も出てきている。また組合せ論に基づく公開鍵暗号も産み出されつつあり、2010 年ごろには広く使われていると思われる。これは従来の数論に基づく公開鍵暗号は、量子コンピュータが実用化されると、解読される危険性が高いと言われているからである。ただし 2015 年の段階においても、量子コンピュータが低コストで実現できているとは考えにくいので、現在主流の数論に基づく公開鍵暗号が引き続き主役になっている可能性は高いと思われる。

盗聴されたことが検知できることによって最強の暗号と言われている量子暗号については、この数年で格段の進化を遂げている。2013 年の段階で、かなり実用化にメドがたっていると思われる。現状では、専用線的な環境下での利用、インフラ整備という側面が強いことから導入に高コストになる側面を持っている。しかし今後は本要素技術の利用展開が十分に予想され、上記のような利用範囲に留まらない可能性が高い。

バイオメトリクスを用いた個人認証によりアクセス制御を行う場合、次のことが重要になってくる:

認証に用いる「バイオ情報」を、

(1)どのようにセキュアに管理するか

(2)どのようにセキュアに確認するか

実際、バイオメトリクス認証に用いる認証情報（インプットされる生体情報やテンプレートとして記録されている情報）や認証結果（認証が OK であったか NG であったかを示す情報）を差し替えられる可能性は十分あり、それが出来てしまうとバイオメトリクス認証を使っている意味がなくなるからである。このあたりについては、(1)IC カードを代表とする耐タンパーデバイスへのバイオ情報の格納、(2)公開鍵暗号を用いたバイオ情報の送信プロトコル

などが研究されている。

また公開鍵暗号を利用するアクセス制御においても、それに用いる秘密情報をどのように保管するのかが問題となる。単なるメモリーカードに記録しただけであれば、紛失した場合や盗難にあった場合に、本人になすまされてしまう可能性が高い。そこで、ICカードなどの耐タンパーデバイスに秘密情報を格納し、バイオメトリクス認証により、カードの持ち主が本人かどうかを確認するというバイオメトリクス認証と公開鍵暗号の融合による安全性強化がなされると思われる。

【参考文献】

・科学技術庁　科学技術政策研究所、財団法人未来工学研究所編:「2025年の科学技術」
・立川敬二監修、「2015 年の情報通信技術」、NTT 出版

３．　基盤ソフトウェア

３．１　情報検索／情報アクセス

３．１．１　産業の現状

情報通信技術の高度化に伴い、E-mail やワードプロセッサなど簡単にデジタル情報を作成、発信できる仕組みが整ってきた。また、ストレージ技術の進歩によりデジタル情報を安価に保管できるようになってきた。このような技術の進歩を背景として、企業のオフィスでも大量の情報が発信、蓄積され、その量の増加傾向は今後も強まると予想されている。例えば、E-mail は 2002 年には全世界で一日あたり 310 億通が交換され、その処理にビジネスマンは一日平均 4 時間以上を費しており、2006 年には 600 億通まで増加すると予測されている（米IDC の 2002 年 9 月 26 日ニュースリリースおよびガードナーグループの 2004 年 9 月9日ニュースリリースによる）。このような情報洪水の中で、オフィスワーカーの生産性向上が課題となっている。オフィスワーカーの生産性向上を目的とした、企業内での文書管理や情報共有などのナレッジマネジメント(知識管理) の日本国内の市場規模は 2002 年度には 154 億円であったが、2006 年度には 635 億円に成長すると予想されている（矢野経済研究所 2003 年 10 月7日ニュースリリースによる）。

情報検索／情報アクセス技術はこのようなオフィスワーカーの生産性向上を目的とした製品、システムの中核を担うものである。蓄積された文書情報を言語処理技術により解析し、ユーザの検索要求に合致した文書を探しだすために欠くことのできない技術といえる。必要な資料が手間をかけずに揃う、情報作成の際に参考資料が即座に手に入れられるなど、知的生産性向上に寄与することを狙っている。その技術の基本は言語処理であるため、対象言語の特徴に応じた処理が必要となる。例えば、日本語では語と語の間に区切り文字をはさまないという欧州系の言語と異なる特徴を有し、検索のための語句を文書情報から取り出すためには、文章中の語句の境界を発見し、また、その語句の品詞を判定するための形態素解析処理を適用しなくてはならない。このような言語の特殊性から、日本国内におけるナレッジマネジメントのための検索システムは日本企業が提供するものが中心となっている。今後も、情報検索／情報アクセスの高度化を進める上では、質問解析の高精度化など言語依存となる処理の比重が高まることが予想される。

３．１．２　今後の見通しと課題

処理しなくてはいけない情報が増えれば増えるほど、人間の情報処理能力は有限であるため、情報検索／情報アクセス技術も高度化が求められる。そのためには、検索結果の正解率の向上だけでなく、ユーザの質問に

対して過不足なく回答して必要な情報への到達コストを削減する「質問応答型検索」、情報抽出手段だけでなく推論機能も加味して、トラブルシューティングにおける症状などの結果から原因を推定、回答する「問題解決型検索」、複数の情報源の情報を組合せ、テキストや表などから構成したユーザにとって自然なレポート形式の回答を作成する「自動レポート作成」といった機能向上を進めていく必要がある。その際、対象情報にメタデータが付与されていれば、それを有効活用することでテキスト情報以外の情報検索／情報アクセスや、検索精度の向上などを図っていくことになる。

さらには、今後、ますます関係強化が進められるであろう中国や韓国などの東アジアの国々を対象に、その言語情報を対象にした技術、環境を整備することも技術課題になると予想される。日本は東アジア、北米、欧州の 3 地域を主要パートナーとして、この 3 地域が日本貿易の 8 割を占めている。中でも、先進国同士の関係にある北米、欧州と比較して、自由貿易協定(FTA)締結など東アジアとのさらなる関係強化が政策上の重要課題になっている。東アジアの国々との政治／経済交流が促進されると、当然のことながらそれらの国々と交換される情報量も増加することになる。お互いの言語情報を有効活用できるようにするためには、機械翻訳技術と連携し、言語を跨って情報検索／情報アクセスを行えるような環境を整備することが望ましい。一例をあげれば、知的財産の正当な保護のため、中国を始めとした東アジアにおける特許戦略は、我国において今後ますますその重要性が増していくと予想される。例えば言語を跨がった多言語特許検索システムを構築することで、東アジア全域の特許マップの作成や侵害発見、公知認定を容易に行えるようになり、特許関連業務に費やしている技術者の知的生産性の飛躍的向上が期待される。

欧州系の言語は類似の言語構造を備えているが、東アジアの言語は、例えば、日本語と中国語は同じ漢字を用いた言語であるが、その言語構造は異なっているように、区切り文字の有無などの表現形式や言語構造の上でバリエーションに富んでいる。このため、それぞれの言語の特徴に合わせた多方面の言語処理技術の開発が必要である。

３．１．３ キーテクノロジー

今後、情報検索／情報アクセスは、ユーザの質問(検索要求)の複雑さとその回答生成の難易度の観点から前節の「質問応答型検索（Factoid 検索、How 検索）」、「問題解決型検索（Why 検索）」、「自動レポート作成」の流れで技術開発が進められると予想される。（図３－１）

Factoid 検索では、従来型の文書単位の検索技術に加えて、質問から回答として得たい情報の種類(回答タイプ)を推定する質問解析技術と、回答候補となる語句を文書から抽出するための情報抽出技術、質問内容と照合して回答候補の適合性を評価する技術が要素技術になる。最初に文書単位の検索で質問に適合する文書集合を絞り込み、その中の文書について質問解析の結果に合致する回答タイプの回答候補を抽出、質問内容と照合して各回答候補の適合性を評価し、適合性の高い順に出力する。現在、Factoid 検索レベルの質問応答型検索の研究開発が大学や企業の研究機関などで進められているが、日本語文書（新聞記事）を対象にしたシステムで回答の正解率は約 5 割にとどまっている。各要素技術の精度向上とともに、質問解析や情報抽出の精度に過度に依存しない回答候補の評価方式が課題となっている。

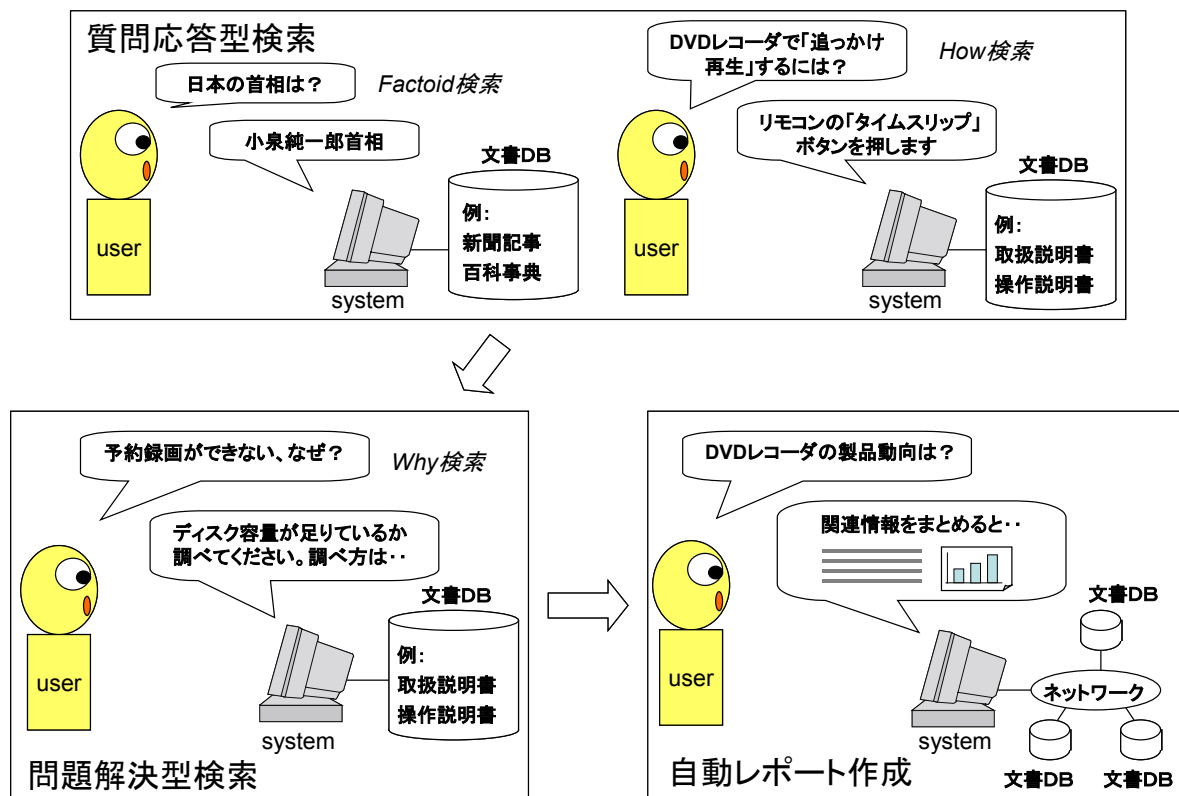



図3－1　情報検索／情報アクセス技術の発展

How 検索においては操作や方法などの説明文を回答しなくてはならないため、語句にとどまらず説明文を対象とした情報抽出技術の実現が新たな課題となる。説明文を状況や操作、方法など、予め定められた種類毎に抽出し、それらを関係付けるための手法を確立しなくてはならない。

Why 検索においては、語句や説明文の情報抽出技術に加えて、質問内容と情報抽出結果の因果関係などを推定するための推論機能の開発が必要になる。文書中の情報を用いた推論モデルの検討、推論の背景となる知識ベースの構築などが課題となる。

Factoid 検索や How 検索のような質問応答型検索、Why 検索のような問題解決型検索のように各種の質問に回答できるようになれば、異なる情報源から得られた回答の統合など、回答の提示を工夫するための技術開発が必要になると予想される。回答の内容に応じてテキストや表など、ユーザにとって都合のよい形式で提示する、複数の情報源からの回答の重複や矛盾の解消を言語解析や一般常識などを用いて行うことなどが課題となる。

以上の情報検索／情報アクセスの要素技術は言語解析を基本としている。そのため、語句と概念の関係などを記述したオントロジー（言語知識）が処理基盤として必要となる。特に多言語の情報に対処するには、各言語に閉じた記述でなく、言語間の関係の記述も備えた多言語オントロジーの構築が必須となる。多言語の言語資源の整備と、それに基づいた多言語オントロジー構築が今後の課題である。

文書を対象にした情報検索／情報アクセスの技術課題を説明したが、例えば、映像などのマルチメディア情報に MPEG-7 でメタデータが記述されていれば、メタデータ中のテキストを利用することで文書検索の技術をマルチメディア情報にも適用できるようになる。ただし、その際には、時間区間などの文書にない構造を取り扱うための技術開発が課題となる。また、セマンティック Web のコミュニティではメタデータを活用することで文書検索の精度向上を図ることができると主張している。文書に対するメタデータの記述方式としては、ISO で国際規格として制定されている Dublin Core や、機械翻訳などの言語処理での利用を意図して構文構造や意味構造を記述した、国連大学の UNL や産総研の GDA がある。情報流通の観点からメタデータの標準化は今後も進められていくと予想されるが、各種のメタデータを活用した検索方式の検討、評価は技術課題として残されている。

３．２ 知識発見/データマイニング

３．２．１ 産業の現状

知識発見・データマイニングの成果は、企業がすぐにでも利用できるコンピュータソフトウェアとして市場にも現われており、IBM、 SAS、 SPSS、 Microsoft、 NEC、 日立など多くの企業が初期の頃から積極的にビジネスとして取り組んでいる。最近では多くの主要な商用データベースの付属機能として OLAP (OnLine Analitical Processing)が導入されており、多くの企業がデータマイニングを活用できる土壌が整い始めている。

応用領域としては、顧客動向分析（マーケティング）やバイオインフォマティクスなどすでに大量のデータが得られている分野からその取組が進められてきたが、最近ではインターネット上で収集されるデータに加えて、RFIDタグの普及やユビキタスネットワーク、デジタル情報家電ネットワークなどの発展により大量のデータが収集可能になるにつれ、さらなる発展が期待されている状況である。

３．２．２ 今後の見通しと課題

今後10年間を大きく3期（1〜3 年後、4 年〜6 年後、7 年後〜10 年後）に分けて考える。この期の振り分けは今後の技術展開の内容に沿ったものであり、技術そのものや社会環境の変化により変動することは充分にあり得る。

1〜3 年後に関しては、産業の現状で述べたように、知識発見・データマイニングの応用は大量のデータを蓄積する枠組みを確立した分野や企業が先行している。ここ 1〜3 年に関しては、データの量的拡大と質的向上に基づく展開が考えられる。データの量的拡大としては、インターネット、ユビキタスネットワーク、情報家電ネットワークなどのインフラの発展に追従する形で展開が見られるであろう。またデータの質的向上に関しては、現在のデータの記録形式は主に SQL-DB に見られる表形式やテキスト形式であるが、これはデータの形式を単純な表形式やテキストで表現しているに過ぎず、今後セマンティックウェブやエージェントの技術の普及によって、より意味的構造されたデータが利用可能になる。具体的には、この 1〜3 年の間には従来のウェブに加えて、XML やウェブサービスの普及が予想されるが、その後には、XML のタグの意味を記述するマークアップ言語やそれらを相互に利用可能とするセマンティックウェブのオントロジー技術によって、RDF、 RDFS 等の普及が予想される。これらのセマンティックウェブ・エージェント技術の今後の普及によって、より意味的に構造化されたデータが利用できることによる知識獲得技術の展開があるだろう。

次の 4〜6 年後に関しては、それまでの適用事例などから知識発見技術自体の技術的な課題も顕在化してゆくものと思われる。例えば、小売店におけるレジでの販売記録データ（POS 売り上げデータ）などが収集されていても、その記録内容が現在収集されている品名や価格・カード会員 ID などであれば、それの属性情報自体の意味が乏しく、消費者が複数の商品のうちどのような種類の商品を同時に購入するかを表す確率を推測する以上の情報処理を実現することは難しい。このような問題を解決するためには、人間の購買行動をより詳細に分析し、購買記録の背後にある商品の特性や顧客の価値観などの分析技術がより重要になり、そのための認知・心理的な評価構造の研究などが現在盛んに行われている。このような、マイニング対象のモデルに関する推測技術が実用化されるのは基礎的な研究の期間を要するため、現在から 4〜7 年度後に実用化されることが期待される。

7〜10 年後に関しては、それまでのデータマイニング技術がコンピュータソフトウェアが取り扱い易い表データや記号的・言語的データがその対象となっていたが、デジタル情報家電のように、動画像や音楽などの連続的な非言語データからの知識獲得が実用化すると期待される。現在、MPEG-7 のような技術標準においても非言語情報の取り扱いが規定されてはいるが、このような規約では単に動画像や音楽などの連続的な非言語データにメタデータを付随させただけのものであり、コンテンツそのもの意味内容は人手によって生成されメタデータと

して付加されることが想定されている。7～10 年後の技術的ブレークスルーとしては、セマンティックウェブ・エージェントの技術意味内容に踏み込んだメタデータの表現、ならびにコンテンツそのものからのメタデータの自動生成を実現する知識発見・データマイニング技術である。この分野は現時点では基礎研究の段階ではあるが、基本的な知見はパタン処理・意味的推論など過去の研究成果の延長線上において積極的に研究が行われており、7～10 年度の時間軸において実用化が期待される分野である。

このような進展に伴い、ユーザ側ではインターネット、ユビキタスネットワーク、情報家電ネットワーク等の利用にあたり、より利便性が上がることが予想される。具体的には「個人により適応したサービスの発見・選択・合成・提供」、つまりユーザ1人1人が自分により合ったサービスを情報環境の中から見つけ出してきて選択したり、また自分が必要とするようなサービスを、他から提供されるサービス群から合成する作業を自分専用のパーソナルエージェントが自動的に行い、ユーザに合成されたサービスが提供できるようになると予想される。

3．2．3 キーテクノロジー

知識発見・データマイニングを量的・質的に発展させるテクノロジーの軸としては、1) 確率統計的知識抽出のための計算力の向上 2) 意味的情報処理能力向上ための推論技術の進展 3) データの意味的表現の導入によるモデルの精度向上 4) プライバシー保護技術の進展による社会的浸透度、などが挙げられる。1) 2) に関しては、単に高速なプロセッサやネットワークが出現するだけでは不十分であり、1) に関しては確率的推論、2) に関しては意味的推論といった情報処理的なアルゴリズムそのものの進展が必要となる。これらの分野は現時点でも、知識発見・データマイニング・学習・人工知能・エージェントなどの研究分野において盛んに研究が進められており、着実な量的拡大(すなわち計算速度の向上)とともに質的発展が進んでいる。3) は主にセマンティックウェブ・エージェント技術の発展により、元データに意味的なメタデータが付加されることにより、知識発見・データマイニングの質的発展が図られるものである。4) はプライバシー保護技術の発展により、市民・生活者のデータをプライバシーの侵害の恐れが少ない方法で利用可能にすることであり、知識発見・データマイニング技術の一層の社会的普及の進展に寄与するものである。

3．3 セマンティックWeb／エージェント

3．3．1 産業の現状

ウェブ技術はインターネットを媒介としたコミュニケーションのコストを低減させ、産業・経済のみならず生活・文化・環境・政治など様々な分野での意思疎通の活発化・活性化に大きな効果を既に及ぼしている。例えば e マーケットプレース(電子商取引)の市場規模は、2001 年において B2B(業者間取引)約 34 兆円(前年比 60％増)、BtoC(業者顧客間取引)約 1.5 兆円(同 80％増)であるが、これが 2006 年には B2B が 125 兆円、B2C が 16 兆円に上ると予想されている(「平成13年度電子商取引に関する市場規模・実体調査」2002 年 2 月 8 日経済産業省プレスリリース)。

現時点では、インターネットを経由したパソコンやサーバによる電子商取引が中心であるが、今後のユビキタスネットワークの進展により、携帯型情報処理装置(携帯電話、PDA のほか、個人認証タグ、バイオメトリクス認証など)による利用シーンならびに利用量の拡大が予想される。

3．3．2 今後の見通しと課題

今後のウェブ技術の展開としては、1)ウェブのコンテンツからサービスへの展開、2)メタ言語としてのオントロジーの普及、3)パーソナルエージェントの普及が挙げられる。

ウェブ技術は現在の HTML、PHP 等から今後 XML を標準として展開してゆくことが予想されるが、XML はデータ交換のオープンな標準としての仕様は確定しているものの、B2B 以外の一般分野での普及は必ずしも進んでいるとは言えない。今後、ウェブがコンテンツ提供からサービス提供のためのプラットフォームへと進化してゆくのに伴い、従来のウェブは XML をベースとしたウェブサービスへと順次置き換わってゆくものと思われる。ウェブサービスの国際標準化は、BPEL4WS や WSDL など多岐に分かれ、これがウェブサービスの普及における大きな障害になっているが、この標準化問題は業界全体の発展のための各団体の協力により3年ほどで収束するものと期待される。

その結果、ウェブページがコンテンツ提供の枠組みを超えて従来アプリケーションプログラムが行っていた情報処理の対象分野の仕事をこなすようになり、P2P やリッチクライアント等の技術の普及も相まって、ウェブ 技術は従来の枠を越え、ユビキタスコンピューティング・デジタル情報家電・エンタープライズシステムなどを包含むほとんどあらゆるアプリケーションのプラットフォームを提供することになると思われる。

このようなプラットフォームのオープン化は従来のウェブだけでなく情報技術全般に影響を与え、ネットワークを介した多くの情報処理がウェブサービスに置き換わる可能性が高い。このことは、従来は異なる分野として別々のアプリケーションが稼働していた様々な利用のシーン（たとえば、オフィス・公共スペース・家庭・交通システム）にわたる情報処理の連携が容易になり、多様なサービスやビジネスモデルを生み出す環境が整うものと予想される。

また、ウェブ関連技術全般に渡って、機械と人間とがセマンティクスを共有するための意味的なデータ構造化が進むものと思われる。現在のセマンティックウェブは、XML で書かれた定型的な書式を、オントロジー(データベースのスキーマ)を用いて標準化する手法であるが、これは今後、一般文書などの情報コンテンツの詳細な意味構造化に及ぶことが予想される。このような、ウェブサービス・オントロジーの普及によって、様々な環境において様々なサービス・ビジネスモデルが作り出されてゆくが、そこでユーザ個人の嗜好や属性を考慮して、サービスを取捨選択・組み合わせてユーザを支援するパーソナルエージェントが普及するものと思われる。

３．３．３ キーテクノロジー

セマンティックウェブ・エージェント技術の量的・質的発展に関与するキーテクノロジーとしては、主に 1) メタ言語記述・処理系 2) 推論系 3) 関連技術がある。1) の言語記述系とは、XML、RDF、RDFS 等の記述を容易にするエディター等の人間とのインターフェィスから、異なる言語間の変換ソフトウェアであり、これらの進展が標準言語としての普及の大きな鍵となる。同時に処理系とは、XML パーザをはじめとする標準言語の解釈・組み立てを行うソフトウェアであり、その高速化ならびに計算資源・電源の低消費率に加えて、パソコン・PDA のみならず携帯電話、さらにはより微細・小型のデバイスへの普及が鍵となる。2) の推論系とは、メタ言語で記述された意味内容から多種多様な推論を実行する論理型アルゴリズムや推論エンジンであり、この高速化が実際のアプリケーションやウェブサービスの実効速度に影響するために重要である。言語記述・処理系と同じく、その高速化ならびに計算資源・電源の低消費率に加えて、パソコン・PDA のみならず携帯電話、さらにはより微細・小型のデバイスへの普及が鍵となる。3) の関連技術とはセマンティックウェブ・エージェント技術と相補的な関係にある技術である。例えば知識発見・データマイニング技術、シミュレーション技術などは、セマンティックウェブ・エージェント技術の発展により、マイニングやシミュレーションの量的・質的発展が見込めるという点でセマンティックウェブ・エージェント技術の恩恵を受ける一方、データマイニングやシミュレーションはセマンティックウェブ・エージェント技術の新たなアプリケーション分野としての可能性を持っている。セマンティックウェブ・エージェント技術は標準化が重要な技術であり、このような有望な関連領域そのものもキーテクノロジーの役割を担っていると言える。

３．４ サービス適応

３．４．１ 産業の現状

インターネット時代からユビキタス時代へ向かおうとしている現在、インターネットによる利用場所非依存のサービスに加え、TPO（時間、場所、目的）に応じたコンテキスト依存型のサービスが台頭してくるものと見られる。中でも場所やモノの特定には GPS や IC タグによる位置センシング技術が重要となるが、IC タグ自身が 2010 年で 3、500 億円の市場規模を見込まれているほか、関連する情報機器や商品管理、チケットなどの応用サービスの市場規模は、同じく 2010 年で 9 兆 3、000 億円に達すると予想されている。海外でも、米ウォルマート社が RFID タグの全面採用を大口サプライヤに要請し、米マイクロソフト社も IC タグへの本格的な取り組みを見せ始めている。

一方、インターネット・サービスの基盤としては Web サービスが着実に浸透してきており、その世界市場規模は 2004 年で 9 億 5,000 万ドル、2008 年までには 62 億ドル規模に達する。日本国内でも 2003 年で 54 億円、以後 2008 年まで年率 57.4%の成長が見込まれている（The Internet & IT Network、2004 年 9 月 28 日 Web 記事）。

インターネット・サービスや上記のようなセンサ応用サービスと深く関連していくであろう情報端末については、非 PC 端末の普及が目立つ。携帯電話を筆頭に、デジタルカメラや Apple 社の iPod に代表されるポータブル・オーディオ・プレーヤ、ソニーのプレイステーション 2 などの家庭用ゲーム機、DVD レコーダなど、ネットワーク対応のデジタル情報機器が大きな広がりを見せている。

３．４．２ 今後の見通しと課題

インターネットによるサービスのグローバル化、流行の短期化、嗜好の多様化などから、市場競争においてサービスのユーザ個々人への適応が今後ますます重要となってくる。特に日本においては、高年齢ユーザ層の重要性が年を経るごとに高まり、分かり易さや使い易さへの配慮が売上に大きく影響する。また、公共交通手段の高い普及率や若年層の嗜好傾向からモバイル端末向けサービスが充実しており、今や家庭用ゲーム機以上に携帯電話へのサービス適応が重要となってきている。最近ではこのようなトレンドを追うようにして、ネットワークやマルチメディア対応の携帯型ゲーム機が市場に投入され始めている。一方の家庭内においても、DVD レコーダを筆頭に情報家電の普及が加速し始め、インターネットや他の機器との連携やサービスの共有が重要となってきている。

利用者や利用環境に最適なサービスを提供する上で、様々なニーズに応えるための多機能化と分かり易さ・使い易さの両立が、常に大きな課題となっている。市場の拡大と共に多機能化が急激に進む IT 関連サービスでは、特にこの問題が深刻である。日本では、産官学が揃ってユビキタス社会の実現に向けた技術開発とサービス構築を推進しているが、いつでもどこでも誰でも利用できるサービスのためには、いつどこで誰が利用されるのかを的確に把握し、最適な内容や形態で提供する必要がある。ここで重要となるのは、サービスが利用される場面の状況を掴むための「センシング技術」と、その状況を理解するための「コンテキスト抽出技術」、理解した状況に応じてサービスを様々なレベルで最適化するための「適応化技術」である。

センシング技術は、利用可能な「センサの種類」が大きく影響する。また、センシング結果を用いたコンテキスト抽出技術では、「適応化対象となるコンテキストの種類」や「コンテキスト抽出領域の精度」、および「コンテキスト抽出レベル」によって、可能なサービス適応の種類が異なってくる。

適応化技術では、文字や画像などを端末や利用者の特性に最適化する「メディア適応」、利用者に分かり易く・使い易くするための「ユーザインタラクション適応」、サービスの内容を状況に合わせて絞り込んだり補完するための「サービス内容適応」という3領域の技術が特に重要となる。また、センシング技術とコンテキスト抽出技術による状況理解は、一方で個人のプライベートな情報や企業秘密を第三者に知られてしまう危険を伴うため、

「コンテキスト保護」のための技術も必須となる。

これらの技術において、まず利用可能なセンサの種類としては、ニーズが顕在化している「位置センサ（GPS、ICタグ）や物理センサ（温度、天候等）」の技術開発が2006年末頃まで中心的に進められ、その後「環境埋め込み型、機器内センサ（道路埋め込み、家埋め込み、社内、家電内、人物センサ）」といったインビジブルなセンサが広く開発されると予想する。さらに 2012 年頃には「生体センサ」の開発が本格化し、人体の内的な状況までを捉えられるようになる。センサの代表である位置センサを利用したコンテキスト抽出では、信頼性の高い抽出が可能な領域の精度が 2007 年中頃までは 10m～数 m、2009 年前後では屋内や利用者近傍の 1m 程度、2012 年頃になると利用者とモノとの近接を認知可能な 10cm 単位にまで向上すると予測している。このようなセンサの開発と精度向上に伴い、利用可能になるコンテキストの種類とその意味的なレベルは、2005 年まではプリミティブな「プレゼンス」に基づく「システム属性（ネットワーク帯域や端末スペック）」が中心だが、2006 年から 2007 年には「システム状況（センサ情報ベース）」といった構造的なコンテキストの理解が可能となり、誰が誰または何と同じ場所に居るかなどの高精度な「場所共有」の認識が可能になる。2008 年頃からは「ユーザ環境（状況検知、TPO 情報）」を位置以外に時間やユーザの動線から総合的に認識し、誰が誰と出会ったかなどの「すれ違い、コンタクト」が分かるようになる。さらに、コンテキスト抽出領域の精度が 1m 以下となり埋め込み型センサで日常的な行動をより詳細に検知できるようになる 2010 年以降では、人の属性や行動履歴、嗜好といった「ユーザプロファイル」が実用的になり、加えて 2012 年頃からは 10cm 以下の範囲でコンテキストを識別できることからユーザの「所有物」を認識し、さらに生体センサも利用可能となることで「ユーザ意図」までもが一定の精度で把握できるようになると予測される。センサによるユーザ意図の把握が可能になると、ユーザに対して提供または推薦するサービスをより精度良くダイナミックに調整できるほか、意図（ミクロな観測結果）と行動（マクロな観測結果）の不一致からヒューマンエラーを発見したり健康状態を診断するなど、応用範囲の更なる拡大が期待できる。

以上の技術の実用化は、コンテキスト保護技術の進展とも深く関わる。2005 年頃までは、情報セキュリティの観点から注目されている「アクセス制限」技術が様々な角度から研究・実用化されていくが、その後 2007 年頃からは関心がプライバシー保護、特に「個人情報秘匿化」技術に移ると予想される。これは、センシングやコンテキスト抽出の高精度化が大きな誘因となる。コンテキストを個別に保護する技術は 2010 年には確立されると見られるが、その後、複数の不完全なコンテキストの断片から十分な情報量と精度を持つコンテキストを推定する高度な推論技術が不正に利用される可能性がある。このような問題に対処するための「推論攻撃対策」技術の研究開発が、その対象を従来の関係データベースや一部の XML ドキュメントからコンテキストへと拡大してくるだろう。

インターネット領域では、Web サービスの標準化が進み、基本 3 要素であるプロトコル（SOAP）、インタフェース記述（WSDL）、サービスディレクトリ（UDDI）は国際的な標準化組織であるW3C およびOASIS によって規格が確立されている。しかし、Web サービスの最終目標とされているオンデマンドなサービスの発見と合成は、これら標準化済みまたは標準化作業中の技術のみでは実現できない。これは主に、内容に基づく「サービスの検索／フィルタリング」ができないためである。WSDL やUDDI では、各サービスを利用するためのインタフェースやサービス選択のために利用する分類コードを記述できるが、そのインタフェースを通じて実際にやり取りされるコンテンツや同じ分類に属する複数のサービスでそれぞれ提供されるサービス内容の違いを表現する枠組みが用意されていない。Web サービスに限らず、コンテンツ配信サービスなどでも、その内容に基づく検索やフィルタリングは既に現時点で顕在化している課題であり、2006 年頃までに様々な取り組みがなされるものと予想される。その後 2008 年頃からは、さらに多様化が進む利用者ニーズに応えるべく、サービス内容を拡大するためにインターネット上の様々な Web コンテンツやセンサ情報などをより積極的にサービスの中に取り込むことが予想される。しかし、これらは非常に幅広く不完全性の高い情報が大半を占めるため、内容の欠損や誤りを修正する「サービス内容補完」技術が必要になる。

サービス内容を適応化する一方で、そのサービスを利用するユーザとシステムとのインタラクションを適応化する技術も重要となる。既に、PDA や携帯電話で PC 用の Web コンテンツを読み易く表示するなどの「端末適応・形式変換」技術が幾つか実用化され始めているが、2006 年頃からはユーザの特性やサービスの利用状況に応じた「対話モーダル選択」を可能にする技術が実用になり始めると予想する。目または耳の不自由な人向けにテキストと音声を相互に変換する技術は古くから研究開発や商用化が進められているが、精度や自然さといった点で十分な品質にはまだ数年を要する。しかし、既に携帯電話が数年前のノート PC 並みの計算能力と記憶容量を備えているように、コンピューティング・リソースの急激な拡大によって音声やテキスト、さらに視覚的表現など複数のサービス表現を記録し、コンテキストに応じて適切なモーダルを高精度・高速に検索して利用することが任意の場面で可能になってくる。対話内容がある程度限定できる用途ではこのような対話モーダル選択の技術で十分対応できる。ただし、利用できるコンテキストが豊富になりユーザや周囲の状況が詳細に把握できるようになっても、モーダルの選択のみでは細かな表現上の違いまでを含むあらゆるバリエーションを用意しておくことはできないため、表現の最適化には限界がある。そこで、選択されたサービスの表現を加工することで更に最適化を行なう「表現変換（レイアウト構造変換、言い回し変換）」の技術が 2008 年頃から重視されるようになると思われる。その後、2011 年以降では、サービス内容の適応と表現の適応とが密に連携し、収集したセンサ情報やコンテキスト情報、Web で得たパブリックな情報などを利用した「関連情報からのオンデマンドサービス合成」が現実のものとなるだろう。Web サービスのオンデマンド合成などは既に一部で研究開発が始まっているが、合成した結果の内容やユーザインタラクションの質が実用レベルに達するのは、6～7 年程度先になると見られる。

サービスの内容やユーザインタラクションなど上位レベルの適応化技術の進展には、それらを支える下位レベルのメディア適応技術もいっそうの高度化が要求される。まずは画像サイズやビットレートといったデータレベルでの品質を端末やユーザ、その他の状況に応じて最適化する「品質変換」技術が 2005 年末頃まで集中的に整備され、その後状況のダイナミックな変化にリアルタイムで追従できる「ノンストップ・メディア選択／切り替え」技術の開発へと重心を移す。2009 年前後からは、前述のモーダルと同様にメディアにおいても選択型から更なる最適化を狙った変換の技術が中心となり、まず音声－テキスト間での「限定モーダル変換」技術が、次いで 2012 年頃からは同様に映像－テキスト間での限定モーダル変換が実用レベルに達すると見られる。

３．４．３ キーテクノロジー

以上挙げた数多くのサービス適応関連技術のうち、特に重要なキーになる要素技術として、まずコンテキスト抽出における「プレゼンス」レベルの高精度判定技術が挙げられる。誰がどこに居るか、機器がどのような状態にあるかなどを判定するには、センサから得た情報だけでは限界がある。例えば、人の位置を測定するために IC タグをその人に持たせる場合、その IC タグがどこかに置き忘れられたり故障する可能性も考慮しなければならない。また、GPS は屋外の広範囲な測位に、IC タグは屋内の限定的な範囲で詳細な測位にとセンサの使い分けも必要であり、それぞれのセンサ情報をシームレスに統合してプレゼンスを判定すべきである。このようなプレゼンス判定の技術は、以後のより高度なコンテキスト抽出に対する基礎となり、十分な精度とロバストネスを確立しておく必要がある。

また、このようにして精度良く抽出可能となったコンテキストは、もう一つのキーとなる「個人情報秘匿化」技術の進展を睨みながら実用化していかなければならない。十分な個人情報秘匿化技術が確立された上で初めて、抽出されたコンテキストの実世界での活用が可能になる。個人情報秘匿化の技術は、暗号化や認証技術を用いたプライベートな情報に対するアクセス制限のほか、サービス利用者の個人情報を直接参照せずに一定の条件を満たした正規のユーザであることを証明するなど、数学的理論に基づく匿名性保証技術の応用が考えられる。

さらに、動的に変化するプレゼンスなどを利用したダイナミックなサービス適応の実現には、そこで利用するメ

ディアのレベルでリアルタイムに適応可能であることが、まず条件となる。従って、状況に応じたモーダル変換などの前に、より実現性の高い「ノンストップ・メディア選択／切り替え」技術を確立することが重要である。有限の選択肢から状況の変化に確実に追従できる速度で適切なメディアを決定し、シームレスに切り替えを行なうには、高度にチューニングされたソフトウェア技術とコストパフォーマンスの良いハードウェア化が求められる。

３．５　サービス連携

３．５．１　産業の現状

ネットワーク上のコンピュータリソースがフルに有効活用でき、容易な運用管理を実現するシステム作りは、IT に従事するものの長年の課題として取り組まれ、グリッドコンピューティングとして発展してきている。グリッドコンピューティングの市場規模は現在 5 億ドルあり、2007 年には 30 億ドルに達すると予測している企業もあり、今後の発展が期待されている。ただし、その発展において、ハードウェアが占める割合はあまり変わらないだろうという予測も共に言われている。

グリッドコンピューティングの例として、ゲノム解析やタンパク構造など、膨大な演算処理を必要とする学術分野での活用がなされ、インターネットに接続されているパソコンを持っていれば誰でも参加できる、地球外生命体の探索を行う「SETI@home」プロジェクトなども挙げられる。

このようなグリッドコンピューティングに見られるように、コンピュータネットワークが増々拡大していくことで、そのネットワークで提供されるサービスも、より人間のサービスに近い便利なサービスを提供できるようになる。例えば、サービス・グリッドとして、「顧客への業務機能をサービス化し、付加価値サービスを取り込み、エンドユーザに提供する」もので、複数の保険会社のシステムを組み込むことで相互比較を可能とした見積比較システム、入荷情報をプッシュ配信するなどの営業活動支援を行うような業務用サービスシステムの実現などがその端緒として挙げられる。

ライフサイエンス分野で大きく期待されたグリッドコンピューティングから、業務用サービス連携システムへと発展をしてきている。さらに、これらは一般のサービスへと展開され、一般の人がより便利なサービスを享受できるようになる。

３．５．２　今後の見通しと課題

従来の Web サービスのように、独自に雑多なサービスが提供されている現状から、ユーザがより使いやすいサービスの実現へ向けて、個々のサービスのメタデータ記述により、次世代 Web サービスの研究開発へと進行する。人が見るためだけの従来 Web サービスから、ソフトウエアが意味的な処理をするための次世代 Web サービスの段階へと進展をする。これにより、対象(社会・環境)の理解、知識の発見、知識の蓄積、知識の利用、処理の実行といった知的なシステムを構築することで、知的サービスシステムが実現される。

すなわち、Web 基盤で、エキスパートがメタデータでエキスパートの知識を書き、分散した知識を、共有される概念の形式的で明確な仕様であり様々なものの間の関係を表現しているオントロジで融合し、それらが統合的に処理可能になることで、ユーザの立場にあった知的サービスの実現が可能になる。例えば、ユーザのいる地域で急に天候が悪くなったことを察知して、行き場所候補の紹介や、商品入手方法の提示、次予定の変更のための処理など、様々な提供サービスが連動して動作することで、人間に対してよりアクティブなサービスを実現することも可能である。AI（人工知能）の反省の一つは、その主旨が巨大な世界知識構築であったのに対し、この知的サービスでは、その主旨は分散した知識をオントロジで融合させることにある。

さらに、人／サービス／コンテンツの意味的統合がなされて、刻々と変化する人、物、サービスの状態を保持、

更新し、通知予約した事象が発生すると指定先にその内容を通知し、情報を配信する際において、その配信先を自動的に選択し、端末能力に適したコンテンツの変換を実行するなどのコンテキストアウェア情報配信システムが、具体的なシステムとして考えられる。時間／場所／持ち物／周辺機器などのユーザの状況や過去の行動パターンから、ユーザに最適なサービス／コンテンツをユーザに提示可能な形態に変換して提供するコンテキストアウェアをベースにすれば、Web サービスのエージェント機能が、ユビキタスにパーソナライズ化されて提供できる。しかも、それらのサービスはエキスパートによる記述がなされているので、信頼のあるサービスとなる。

３．５．３ キーテクノロジー

サービスオントロジでは、コンテンツ間の連動したサービス（コンテンツ連動サービス）の分析及び関係記述の確立と、具体的にエキスパートの知識で書くためのサービスの記述を分析し、体系化することが期待される。また、この記述方法を使った巨大なサービス知識データベースにより、エージェント化が過去の AI とは異なる分散型の知識ベースとして実現できる方向へと発展していく。これらは、W3C などで議論されている Web サービス記述言語（WDSL）と呼ばれる Web サービスのインターフェイスを記述する言語の進展とも大きく関わっていく。

サービス・グリッドは、サービスレベルでの分散処理を行うもので、データ・グリッドが苦手としている領域、すなわち複数の事業所やデータセンターをまとめることや、取引先ネット（エクストラ・ネット）とのシームレスな運用をはかるアプローチ方法として期待されている。この手法は、ホームネットワークにおけるファイアウォールとしてのゲートウエイと、企業イントラネットのファイアウォールとしてのゲートウエイの関係との相似から、ホームネットワークの進展により、業務・産業用としての展開のみではなく、より広く一般用途への展開がなされていく。

コンテキストアウェアネットワークでは、ID と隠蔽されたネットワークアドレスのマッピングを解決する技術や、ID をつけたモノが動き回ることを追跡し通信することが、まず第一歩の基本技術となる。次に、ユーザコンテキストを元にしたサービス制御、ネットワークコンテキストを元にしたネットワーク制御、その両者の連携を行うネットワークミドルウエアの構築が期待される。これらの制御には、最適経路選択を行うサービス品質の確保（QoS）も含まれる。このコンテンツをユーザに表示可能な形式にトランスコードするプレゼンス適応変換技術も、このコンテキストアウェアの実現では期待されている。

さらに、それらのサービスは、記述サービスの連想データベース化も行われ、よりあいまい性も考慮されたより人間にフィットしたサービスの実現へと幅を広げ、「ネットワーク・ロボット」のように人間の生活を支援してくれるような時代へと期待が高まる。

３．６ ネットワーク相互接続

３．６．１ 産業の現状

2004 年 5 月末の国内ブロードバンドサービス加入統計によると、DSL（Digital Subscriber Line）が約 1.180 万、FTTH(Fiber to the Home)が約 133 万、CATV が約 266 万と、合計で約 1.580 万加入に達した。今後も加入者の増加は堅調に推移することが見込まれ、家庭内におけるブロードバンド環境が整いつつある。携帯電話サービスの加入者数は 8.000 万を突破し、誰もが持つ身近な機器となった。2003 年 12 月に始まった地上デジタル放送も、2006 年までには放送エリアが全国に拡大され、双方向サービスなどの新たなサービスが創出されると予測される。ホームネットワーク機器は、デジタル TV／DVD レコーダ／デジタルスチルカメラの「新・三種の神器」に牽引され、消費者の購買意欲は徐々に高まっていくと見られる。現状では、IEEE1394 や USB(Universal Serial Bus)といった有線ネットワークや、IEEE802.11x などのワイヤレスネットワークなどが混在したネットワークであり、相互に接続されるには、まだまだ多くの課題が残されている。

アプリケーションとしては、E コマース、ホームセキュリティ、在宅医療サービス、e ラーニング、行政サービスなどのサービス享受の他、IP 電話サービス／IP テレビ電話サービス、などのコミュニケーションサービス、遠隔機器制御のような機器のコントロールサービス、有料のブロードバンドコンテンツなどを享受するコンテンツサービスなどがある。

宅外との接続という点では、PC 系のネットワーク、IP 電話サービスが最も早く実現されてきた。一方、白物家電のコントロール系が主体の ECHONET では、I/F のみ実装しておく規格もでき、市場への早期浸透を試みている。長い視点で見て相互接続を考えると、IP ネットワークで相互接続されるという考え方もあるが、一方で、ECHONET などのように、機器の実装コストを考え、できるだけ機器の価格に影響を与えない形を追求する考え方もあり、いくつかのアプローチが存在するであろう。

３．６．２ 今後の見通しと課題

ホームネットワークは、そのネットワークを構成する情報家電として、現在大きく、暮らし家電、AV 系家電、PC 系家電に分かれて、それぞれのドメインで進展してきている。これらを相互に接続することは、ユーザベネフィットの観点から非常に重要である。さらに、これらの情報家電機器が、宅外からもアクセスできたり、携帯電話や車載機器とも相互接続されることで、ユーザにとってユビキタスにサービスやコンテンツを享受可能なネットワークが実現されていく。

例えば、テレビで洗濯機の稼動が終了したことがわかったり、他の部屋に寝かしつけている子供に異常がないか監視しておいたり、家への来訪者に外出先にてリアルタイムで対応できたり、帰宅する少し前にエアコンを入れておいたりすることができれば、生活が便利になる。

これらの実現は、主として共通のインターフェイスを有したミドルウェアによって行われることになる。また、この相互接続において、プラグアンドプレイで接続でき、コンテンツやサービスの権利を、機器を渡って機器を意識することなく享受できるプラグアンドサービスを実現することで、簡単にサービスを受けられる情報家電ネットワークの構築が可能でなければならない。

さらに、ユーザの保有するネットワーク機器のリソースを有効に活用する分散協調制御を実現することで、ユーザが機器個別に制御を行うことなく、機器／デバイスの状態がマッピング／管理され、ユーザの目的を達成できるようなネットワークへと進化していく。また、IP 接続や非 IP 接続の機器も含めて、機器の位置や状態により、ネットワークを自動的に再構築し、伝送速度やセキュリティレベルに応じたネットワークに自らの接続を更新していくリコンフィギュアラブルネットワークを実現することで、常に快適なネットワークをユーザが維持できるように発展していく。

IEEE1394 の AV/C（Audio Video/Control）コマンドは、非常にシンプルな構成になっており、また伝送の際のオーバヘッドも小さい。さらにホストとなる機器を設けることなく、ネットワークを構成することができる長所を有する。しかし、AV/C コマンドはシンプルな構成をとっているため、専用リモコンで制御できる全ての操作を実行できない、あるいは異なる IEEE1394 ネットワーク間をブリッジして映像ストリーム、制御コマンドなどの送受信ができないなどの短所も有する。

ECHONET などにおいては、機器が接続されると、機器の動作状態を含めて自動的に機器検出が行われ、制御可能な機器の情報をリアルタイムに知ることができる。また機器の状態が変化したことを通知する機能を備え、通知された情報を元に機器間の連携動作を行うことができる等の長所があるが、機器のネットワークへの接続を許可してよいかどうかを判断する機構が十分でない。また ECHONET オブジェクトの定義の中で、機器の種類やプロパティの値の定義をあらかじめ全て決めておく必要があり、新しい種類の機器が出てきた場合の拡張性や自由度が低いという課題もある。セキュリティに関しては、認証機能と共通鍵暗号化機能が規定されているが、鍵の設定管理方法の簡単化が課題である。

一方ではこのような情報家電のIP化が進んでいく。IPアドレスの枯渇問題などを解決するために、IPv6化する必要に迫られるが、IPv6の128bitのIPアドレスを人手で設定管理することは非常に困難であり、宅内間あるいは宅外からの通信において、宅内機器に対する名前とIPアドレスの対応付けを誰がどのように管理するのか(インターネット上のDNS(Domain Name System)でどこまで管理するのか)は、システム上の課題である。

セキュリティモデルに関しては、IPv6のセキュリティとしてIPsecが規定されているが、IPsecだけでセキュリティ性能や相互接続性の確保が可能かどうかの議論は必要であろう。処理負荷に関しては、IPsecの暗号処理の負荷が大きいという評価も場合もあり、低価格な機器や、高速な伝送が必要な機器にとってIPsecは十分なものか評価する必要があろう。

QoS(Quality of Service)に関しては、トラフィッククラス、フローラベルが規定されているが、この使い方については、設定値に対するQoS処理の内容や、帯域の保証も含めてよく吟味する必要がある。また、宅内間の通信で、QoS非対応の機器が混在した場合や無線などの異なるメディアを経由する場合の保証、宅外とのストリーム送受信などで、インターネットとの連携方法も課題である。

プラグアンドプレイに関しては、IPv6で現状規定されているのは、IPアドレスの自動設定やデフォルトルータの設定まででである。その他については、プラグアンドプレイをどのように実現するのか課題である。特に、機器検索やサービス発見をUPnP(Universal Plug and Play)等のミドルウェアで行うのか、IPv6のZero-Config機能拡張で行うのかも、システム上評価分析が必要である。

IPv4からIPv6への移行に関しては、移行期にはホームネットワーク内にIPv4の機器とIPv6の機器が混在する環境となる。この時、宅外との通信をIPv4あるいはIPv6で一本化するのか、IPv4とIPv6を切り替えて行うのか、モデルが決まっていない。また、宅内のIPv4機器とIPv6機器が通信を行う場合に、デュアルスタック対応によるコスト的な課題、通信相手の機器がIPv4かIPv6かわからないので、つながるまでの時間が遅くなるなどの課題がある。

3.6.3 キーテクノロジー

AV/C、ECHONET、UPnPの間のプラグアンドプレイはもちろんのこと、セキュリティまで配慮した相互接続が今後必要になる。さらに、コンテンツサービスのアプリケーションでは、コンテンツ保護の仕組みも配慮した相互接続が必要となる。このときキーになるのは、相互接続ミドルウェアの構築である。一方、サービス連携との機能連携を考慮すると、プラグアンドプレイのような機器認識までのレベルではなく、機器の使用に対して、表示機器の属性に合わせたコンテンツの配信ができるようになることも期待される。

宅外では、移動体と宅内の通信が問題となる。特に、移動体の速度と、コンテンツの帯域確保の管理が重要になる。ユーザベネフィットの観点からは、車や携帯電話と宅内機器とのネットワーク連携は必須であり、車や携帯電話や宅内機器との統合化されたコンテンツ管理技術など、非常に重要な技術の構築がなされていく。このときコンテンツの権利を移動できるような技術やコンテンツのフォーマットを相互に変換できる技術を実現すれば、ネットワークによる機器の制御のみならず、ユビキタスにネットワークコンテンツを享受することが可能になる。

このようにネットワークにつながるホーム機器が増えてくると、それらを分散協調制御する動きが期待されるようになる。例えば、残容量が少ないホームサーバ機器への録画において、ネットワーク経由で、残容量に余裕のある機器にユーザが意識せずとも録画できたりするような制御である。さらにこれらの技術が進む頃には、ネットワークインターフェイスとして、無線も含めて複数の物理層を持ち合わせるようになることが期待されるために、ネットワークを自ら再構成して、ネットワーク帯域の制限などを制御し、様々に構築される高速ネットワークの帯域を統合的に帯域管理する技術、自ら都合のよいネットワークパラメータなどの自動設定技術、セキュリティ境界を段階的にフレキシブルに設定する技術により形成されるリコンフィギュアラブルネットワークへと進展していくことに

なろう。

３．７ 組み込みOS

３．７．１ 産業の現状

組込みOSの分野では、主に産業用に使われてきたリアルタイムOSがいままでは主体であり、国内はμItron、海外はVxWorksがトップシェアである。これらのOSは、“リアルタイム性を保障する”、“8bit、 16bitマイコン上の少ないリソースで動作する”ことが大きな特徴で、それまでの OS を使わない組込み機器のソフトウェア開発のスタイルを大きく変化させた。

しかしながら、従来の H/W を中心とした機器の基本性能をより高くする「高性能化」の競争軸に加え、最近は GUI に代表されるように「使いやすさ」の競争軸や、スタンドアロンではなく外部と情報をやり取りする「ネットワーク化」の競争軸が機器開発には必要とされている。この三つの競争軸を背景に、CPU は、より処理能力の高い 32bitCPUとなり、広大なメモリアドレス空間を管理するためにMMU(Memory Management Unit)を持つに至った。組込みOSも同様に、MMUによるメモリプロテクション機能を駆使して、複雑なGUIアプリケーション開発を支援し、また、バグのあるアプリケーションや悪意ある攻撃から自らを守る機能を持つOSが登場するに至った。

たとえば、PDAのために開発されたとされるWindowsCEやSymbian、ロイヤリティフリーのLinuxである。実際WindowsCEは、PDAだけでなく、TVや携帯電話に搭載され、また、Symbianも携帯電話の中でシェアを着実に拡大しつつある。Linux も PC 用の OS として生まれたが、本年度より各社から情報家電製品に搭載され出荷が始まり、CE Linux Forumが発足しさまざまな検討・開発が行われている。これまで不得意とされてきた、リアルタイム処理や低消費電力処理、起動時間の短縮なども解決の方向で開発が進んでいる。一方、従来型のリアルタイムOSについても、たとえば、μItronはT-Engineソリューションの中で、VxWorksは次期バージョン6.0において、メモリプロテクション機能のサポートを開始しており、今後は、組込み OS の機能面では着実に差がなくなる方向に進んでいくと考えられる。

３．７．２ 今後の見通しと課題

今後、組込みOSは、先に述べた「高性能化」「使いやすさ」「ネットワーク化」の三つの競争軸にそった機能面・性能面での拡張が進む。「高性能化」としては「リアルタイム性能」「I/O レート」が、「使いやすさ」としては「起動時間・停止時間」「システムリソースサイズ」「低消費電力」「サウンド・グラフィック機能」が、「ネットワーク化」としては「セキュリティ」「メモリプロテクション」が現在最も多くの取り組みがなされている分野である。これら評価パラメータにおける組込みOS間の差は、機能・性能の両面において2007年には解消されるであろう。その後は、さらに、性能改善がすすみ、2012 年には、「μSEC オーダのリアルタイム性」「起動・停止 0.1 秒以内」「消費電力 0.1W 以下」「8Kx4K の表示解像度」「10Gbps の入出力レート」の性能をミドルウェアやアプリケーションに対して提供できるに至る。それにより、家電製品においても、音声認識や生体認識などの重たい情報処理を可能とし、より自然なユーザインターフェースとともに、PCと同等の高機能なアプリケーションを享受できることになる。

一方、2008 年頃までには、「使いやすさ」と「ネットワーク化」の融合が進む結果、いろいろなものが簡単につながって複合的なサービスを期待できるユビキタスな環境が出現し、それに対応して、新たな評価パラメータが出現する。「ミドルウェアの互換性」「アプリケーションの互換性」「ネットワーク分散強調機能」「デジタル著作権管理」などである。特に分散協調機能についてはかなり早い時点で OS のサポートを要求される。「使いやすさ」を実現するCPUの処理能力を「ネットワーク化」を基盤に分散処理によって確保することにより、単一のCPU性能競争は意味を無くす。これは、まさに、組込み機器用のグリッドコンピューティングであるが、単なるリソース分散

だけでなく、異なる CPU アーキテクチャかつ異なる OS 間で処理を分散させることのできる仕組みの開発が課題となる。

「アプリケーションの互換性」に関しては、「ミドルウェアの互換性」が前提となるため、時期が2、3年ずれる。この「アプリケーション」とは、ネットワークを介したさまざまアプリケーションを意味し、PC も例外ではない。特に「アプリケーション」の「ユーザインターフェース」(GUI)が課題である。たとえば、2004 年度に始まった地上波デジタル TV の解像度(1920x1080)は、標準的な PC の解像度 SXGA(1280x1024)、 XGA(1024x768)を越えている。単純に言えば、PC を越える表示性能が民生機器に要求される。現時点では CPU、GPU(Graphic Processing Unit)ともに単体での H/W 性能は PC に劣るから、貧弱な GUI しかユーザに提供できていない。しかしながら、この処理能力の問題は、ネットワーク分散処理機能の実現により解決される。課題は、OS が「アプリケーション」の「インターフェース」をどのように決めて、機器ごとの H/W に渡す仕組みの開発である。たとえば、表示 API 一つにしても、現在、WindowsCE は DirectX 方式をすすめ、Linux に関しては、DFB(Direct Frame Buffer)方式に統一していこうという動きが上記 CE Linux Forum を中心に進みつつあるなど、基盤技術の段階でばらばらである。これら OS 間での相互互換性、相互運用性を確保するためにも、表示 API の統一化含めた、API の抽象化が求められている。

なお、情報家電においては、CPU+組込み OS は、PC のように Intel x86＋Microsoft Windows のような 2 社寡占状態に収束することは想定できない。なぜならPC は、エンドユーザにとっては用途に応じた、PC アプリケーションソフトウェアを使うことが目的である。その目的のためには、CPU や OS は統一されることがベストである。しかしながら、情報家電は、購入した機器を使うことが目的である。その目的のためには、CPU と OS の統一はかならずしもユーザメリットにはならない。ただし、CPU が 8bit、 16bit、 32bit と処理速度が上がるにつれアーキテクチャ数が減っているのと同様に、組込み OS についても数年前の数百という種類から一桁台に収束しているのも事実である。最終的には、機器は、数種類の CPU と数種類の組込み OS の組み合わせで構成されるであろう。そして、その段階においては、Intel x86＋Microsoft Windows も分散ネットワークにおける単なる一つの組み合わせとなるに過ぎない。

【参考文献】

・日本システムハウス協会、トロン協会「2003 年度組込みシステムにおけるリアルタイムOSの利用動向に関するアンケート調査報告書」

3．7．3 キーテクノロジー

「高性能化」に対応するキーテクノロジーは、オーソドックスな「リアルタイム性」向上技術である。リアルタイムとは、機器として、ある処理を実行する必要性が発生してから、実際に実行されるまでの遅延時間を保証することであり、たとえば、自動車であれば「ブレーキが踏まれた→アンチロックブレーキが動作する」までの最長時間は、車体重量、最高速度、路面状況などから、決まる値である。この値が 0.5 秒であれば、確率的に 0.5 秒以下であるということではなく、いかなる場合でも 0.5 秒以下であることを意味する。これを保証するためには、CPU の割り込みをマスクしている時間、割込みが入って必要なプログラムがスケジューリングされる時間、スケジューリングされたプログラムが実際に実行される時間、実際に実行されている間に他のプログラムが割り込んでくる時間などを、CPU が持つタイマーを最優先にして、厳しく管理する必要がある。このための仕組みを OS が持っているものをリアルタイム OS、持たないものを単に組込み OS と使い分けてきた。先に述べてきたように、CPU の処理能力の向上にあわせ「確率的擬似リアルタイム性」ですむ分野から、「使いやすさ」「ネットワーク化」のユーザニーズに対応した組込み OS の台頭が注目されているが、今後の対応が必要な技術である。

「使いやすさ」を代表するキーテクノロジーは、「起動時間・停止時間」短縮技術である。使いたいときにすぐ使えるという利用シーンが究極である。人が機器を使いたいと思って、「電源 ON のボタンを押す→機器が使えるようになる」までの時間が起動時間である。これは、リアルタイムでなくてもよい。1 秒であれば、ほとんどの場合確率的に1秒以下であればよい。現状は、これが“分”というオーダであることに大きな課題がある。これを解決する技術がサスペンドレジューム、ROM 起動などである。サスペンドレジュームは、PC では“スタンバイ”、“休止”といった機能で馴染み深い。PC の x86 アーキテクチャにおいては、BIOS(Basic Input/Output System)が機能として搭載している ACPI(Advanced Configuration and Power Interface)を用いることで比較的容易だが、その他の CPU アーキテクチャにおいては、それぞれの BIOS がこれをサポートしていないため、OS 側の作りこみが必要とされている。ROM 起動は組込みならではの機能である。ROM(フラッシュ ROM 含む)に焼きこまれたプログラムがそのまま、実行される仕組みである。PC では、プログラムはメモリ上にはなく、なんらかのストレージデバイスにファイルの形で格納されているので、かならず、メモリにコピーする必要がある。

「ネットワーク化」を支えるキーテクノロジーは、「セキュリティ」確保技術、「メモリプロテクション」利用技術である。前者については、別項で述べられている。メモリプロテクションとは、CPU のメモリ空間を仮想的に管理する MMU(Memory Management Unit)の機能を OS がサポートし、OS が動作するカーネル空間と、アプリケーションのプロセスが動作するユーザ空間を物理的に分離し、さらに、プロセスごとのメモリ管理を可能とする機能である。本機能により、PC では標準的なプロセス型アプリケーションソフトウェア開発が組込み機器でも可能となり、特定のアプリケーションのバクによる暴走、または、ユーザがダウンロードした悪意あるプログラムから、特定プロセスとして作られたユーザデータを保護することが可能になる。ネットワーク化によって、従来型の OSからミドルウェア、アプリケーションまで全てを垂直統合して機器単体ソフトウェアから、分散強調動作により、異なるミドルウェアやアプリケーションを動かす必要がでてくる。これを実現するキーとなる技術である。この技術の延長線上に、「ミドルウェアの互換性」「アプリケーションの互換性」を議論する必要がある。

4. デバイス・機器類

4.1 ディスプレイ

4.1.1 産業の現状

情報家電・PC およびそれらの融合されたシステムのいずれにおいても、HMI(ヒューマン・マシン・インターフェイス)の果たす役割は極めて大きい。中でも、人間が認識する情報の約9割は視覚を通して得ているとも言われ、ディスプレイは非常に重要なハードウエアの一つである。各種ディスプレイ技術のなかで、FPD(フラットパネルディスプレイ)は世界市場の総売上高で8割程度を既に占めるに至っている(図4－1、4－2)。

FPD を技術的に大別すると、液晶(LCD)、プラズマ(PDP)、有機 EL 等がある。ディスプレイデバイスとしてテレビや PC モニタとしてこれまで広く活用されてきたブラウン管(CRT)と比べて、これらの FPD はいずれも薄型、軽量で大画面でも設置が容易なため、急速に CRT からの置き換えが進行している。各 FPD 技術はそれぞれ異なる性能的特徴を有しており、例えば、30型以上の大画面テレビ分野では LCD と PDP、携帯電話や携帯情報端末(PDA)等の小型ディスプレイには LCD や有機 EL が主に搭載されている。今後、各方式が抱える技術課題が解決されることにより、それぞれが一層の高性能化、高機能化が進み、産業、社会の様々な局面で、いわば「適材・適所」的に、FPD の利用が広がっていくと予想される。

こうした産業・技術の状況を背景として、我が国を含むアジア圏を中心にFPD産業への設備投資が年々拡大している。特に、近年、韓国や台湾を中心に FPD 分野への戦略的な大規模投資が行われており、我が国企業の世界における生産シェアも低下してきている(図4−3)。

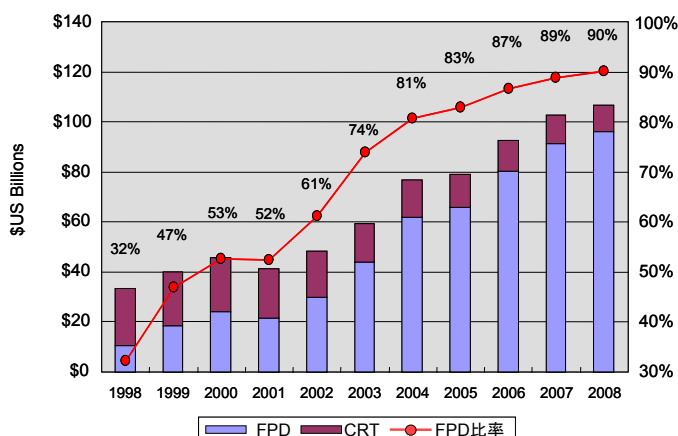
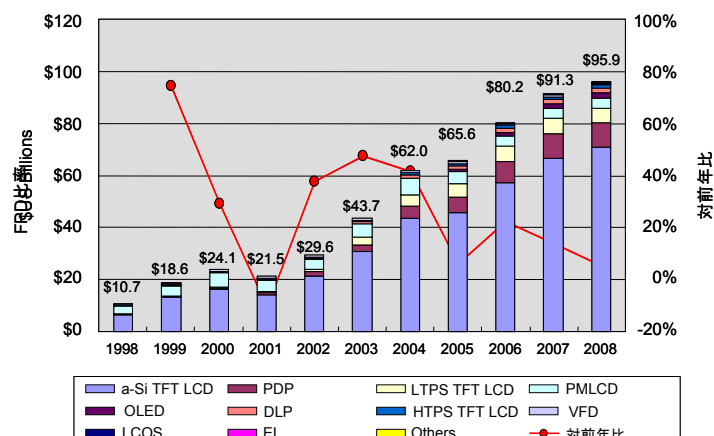



図4−1 CRT とFPD の市場規模　　　　　　　　図4−2 FPD 種類別市場規模

(出典:8th DisplaySearch Japan Forum, December 9-10, 2004)

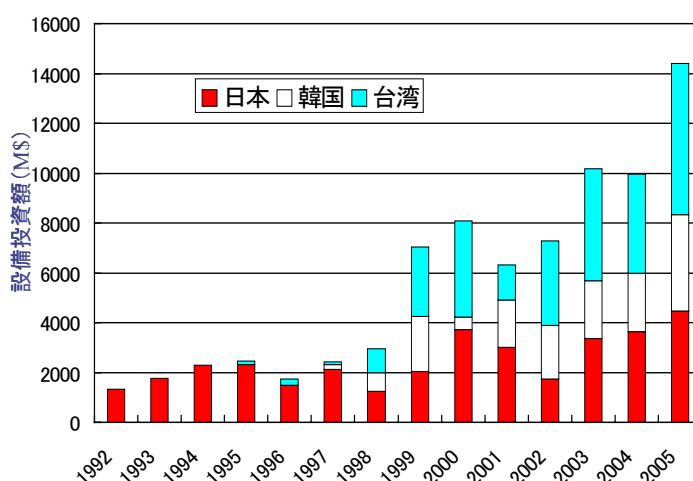



図4−3 世界 FPD メーカ設備投資額の推移と予測

(出典:「特別調査レポート2004 フラットパネルディスプレイ プレスジャーナル)

4.1.2 今後の見通しと課題

FPDの応用市場は通信環境のブロードバンド化・シームレス化などによるユビキタス環境のさらなる進展とTV放送のデジタル化・高情報容量化が、社会とそれが求める表示デバイスとしてのFPDを大きく変えていく。 市場を極めて大きく分類すると、中小型サイズのモバイル性を重視した市場と、大型・超大型サイズであるがゆえに据え置きに近い市場に二分される。モバイル市場製品への要請は薄型軽量化、小さくても必要な情報量を確保するための高精細画面化、低消費電力化・超低消費電力化、明暗の使用環境によらぬ高視認性化・高判読性化と、きれいな動画表示能力や高色再現性能力などの高画質化・高表示性能化が上げられる。さらに、モバイル機器においてディスプレイ以外に外付けされる各種デバイスの機能をディスプレイにインテグレートしていくFPD の多機能化も、システムディスプレイあるいはシステム・オン・グラス(SOG)などと総称される技術として追求されている。この多機能インテグレーションも、上記のモバイル性を高めるための極めて重要な技術要素となってきている。一方、大型・超大型 FPD に関しては PC の表示容量の向上(例えば UXGA 以上)や HD(ハイデフ

ィニション）TV 対応の多画素数化、更なる大画面化、環境負荷を考慮しての低消費電力化、高視認性化・高判読性化、画像を楽しむためのきれいな動画表示対応能力や高色再現性能力などの高画質化、人間工学的な眼精疲労の低減などが上げられる。また、当然のこととして、より低コスト・低環境負荷が継続的に追及されていく。

情報家電・PC の進展と共にユーザニーズが多様化し、それに伴いディスプレイデバイスも多様化してきている。今後10年程度を見通した場合に予想されるアプリケーション分野を細分化してみると、従来の延長線上にある「①据置型ビジュアルインタフェイス（テレビ・モニターの発展形）」、「②モバイルインタフェイス（携帯電話・PDA の発展形）」に加えて、モバイル分野の中に「③フレキシブルポータブルインタフェイス（紙媒体の発展形）」、「④ウェアラブルインタフェイス」というような分野へと発展していくと予想される。また、視覚的には立体視（3D）タイプや投射タイプなどが上げられる。

これらのアプリケーション実現のために必要とされる技術課題としては、2項で示したような市場要請への解決策ということになろう。高精細化や視野角、動画質といったディスプレイとしての表示性能向上と、低消費電力化や軽量化、フレキシビリティ、低コスト化といった表示以外の機能・性能向上である。 分野毎の特徴的課題として書き換えると、「①据置型ビジュアルインタフェイス」では高画質・大画面（薄型）・多画素・低消費電力、「②モバイルインタフェイス」では高精細・軽量薄型・多機能、「③フレキシブルポータブルインタフェイス」では軽量・フレキシビリティ・高精細・超低消費電力、「④ウェアラブルインタフェイス」では軽量・フレキシビリティ・超低消費電力、がそれぞれにおいて特に重要な課題と考えられる。

４．１．３ キーテクノロジー

各分野での要請事項・課題を要素技術的観点から見て将来の技術開発の方向性の一端を記述する。

（1）据置型ビジュアルインタフェイス

「高画質化」のためには、LCD では動作方式（高速・広視野角・高コントラストなど）や表示色の再現方式（例えばフィールドシークエンシャル方式などの原理的なものから、カラーフィルタとバックライト光源の新規組み合わせなどの部品レベルでの大幅な改善）などの検討が継続されていくであろう。有機 EL も発光部の厚みが小さいことから高精細に適用し得る技術であるが、色の再現方式として3原色発光材料の面積分割タイプの場合は発光材料の塗りわけ・成膜方法などに技術ブレイクスルーが必要である。また、PDP・有機 EL や SED・FED などの蛍光体の発光を利用した自発光デバイスでは、明るい環境下でのコントラスト（明所コントラスト）に大きな課題がある。各技術とも発光効率が高くなるに従い、各種光学フィルタをディスプレイの前面に設けることでその課題を低減していく方向にある。

また、LCD や PDP は軽量薄型の特性を活かして、「大画面化」が急速に進行しているが、画質的にもさらなる改善が求められている。加えて、高臨場感を得るなどの目的のためには今後さらなる「大画面化」と「多画素化」が進むと考えられる。具体的には、2005 年～2007 年を目処に 40～50 型でフル HDTV（走査線数 1080 本）が実用化され、その後画面サイズとしては 60 型以上へ「大画面化」が進行し、走査線数は 2008 年以降には次々世代 DVD やデジタル・シネマに対応する走査線数 2000 本級、2011 年以降にはさらに 4000 本を超える「多画素化」へと進展するであろう。また、FPD は一般的に面積増加とともに消費電力は増加する。大型化と高輝度化を両立させながら更なる低消費電力化を求めることが社会的にも要請される。デジタル放送の浸透が進む 2009～2010 年頃には、これらの課題を根本的に改善できる可能性を有する候補技術の一つとして有機 EL や FED・SED などが期待されている。しかし現時点では、有機 EL はまだ基本性能である発光効率や素子寿命等の課題が極めて大きく、大画面化の技術もまだ確立されておらず、更なる研究開発努力が必要である。また、FED・SED も試作レベルであり大画面製品の量産には、まだまだクリアしなければならない技術課題が山積している。

（2）モバイルインタフェイス

「高精細化」に関しては、LCD が表示原理的に比較的容易に実現可能であり、特に、中小型のモバイル分野では 200ppi（pixel per inch）を超えており、試作品では 300ppi まで到達している。モバイル機器における今後の表示コンテンツの多様化も益々進展することが予測されるため、この分野の LCD は 2008 年頃には 400ppi クラスも実用化されるであろう。また、近距離で表示を見るモバイル機器では少なくとも 300ppi までは精細度の差が視認できるため、他のモバイル用 FPD 技術（例えば、有機 EL）でも高精細に向けての技術開発は継続して追求されるであろう。しかしながら LCD においてさえも、精細度が高くなると光利用効率が低下（画素の微細化により画素開口率が小さくなる）し、消費電力の上昇により電池駆動時の連続動作時間が短くなってしまう。この課題低減のために LCD 自体での更なる技術開発と共に、燃料電池などのバッテリーの開発が加速されていくことになろう。

モバイル機器そのものが軽薄短小への進化が進むなかで、当然ディスプレイは、表示情報量の増加に伴う高精細化と一定のスペースの中で可能な限り大きな画面サイズが要求される。そのため、ディスプレイ以外の部品の小型化（ASIC 化や個々の部品の高密度化）はもとより、根本的には部品点数削減が不可欠となる。そこで、特にこの分野においては、今後、ディスプレイの基板上に周辺回路を作り込む「システムインテグレーション」が進んでいくものと考えられる。また、このインテグレートされるシステムは必然的に表示に関する機能以外のインターフェイス機能も持つことが望まれる。つまり、アウトプット機能しか有していないディスプレイにロジックやインプットセンサなどの多機能を要請することになる。例えば、センサの一例としては、光センサなどが有力視されており表示画面から画像入力が可能な LCD も試作されており、その技術の延長上には個人認証に欠かせないバイオメトリクス認証機能などが想定される。 このようなガラス基板をベースとしたデバイスの製造工程においては、ガラスの軟化温度の限界があり、最高でも 600℃以下程度の低温プロセスで高性能の半導体素子を形成するためのシリコンを結晶化する必要があるが、現状では、まだ単結晶シリコンに比べて性能が不十分（現状の製品レベルでの電子移動度は 100～200cm^2/Vs 程度）である。ディスプレイのさらなる多機能化を実現するには新たなブレークスルーが必要である。電子移動度・面内均一性・大型基板での高生産性微細加工など非常に高いレベルでの要素技術やプロセス・装置技術の開発及び回路設計技術の開発が必要である。

（3）フレキシブルポータブルインタフェイス及び、（4）ウェアラブルインタフェイス

フレキシビリティに関しては、現在、LCD・有機 EL・新規表示デバイス等を用いて世界中で開発が盛んに行われている。しかしながら、表示性能と可搬性の両面で紙に匹敵する性能を実現するには非常に高いハードルが存在する。表示性能としては、紙のような視認性（白反射率・解像度・コントラスト・視野角など）を実現させつつ超低消費電力が要求される。また同時に、周辺部材・部品を含めたフレキシブル性と、超軽量化を実現する必要がある。現状は、紙をベースにして書き換え可能機能を付加した「リライタブルペーパー」と、LCD・複数の新規表示デバイスなどの電子ディスプレイにメモリ機能の内蔵（付加）やフレキシブル化を図った「ペーパーライクディスプレイ」が研究されているが、前者は表示の書き換えが不十分であり、後者は表示性能（視認性）が紙のレベルに達していないという課題がある。加えて紙のコストに見合う電子ディスプレイが存在するわけはなく、単なる低コストという現在の紙が持つ絶対的優位性から、電子配信による情報の世界同時性・メディアの搬送移動コスト低減・省資源などが強い社会要請となりユーザの価値観が変わってこなければ紙を代替することには至らない。

またモバイルデバイスの究極の姿として、ウエアラブルディスプレイも想定される。この場合は極めて薄型軽量かつフレキシブルなものや光学的な拡大に耐えうる超高精細なデバイスが要求されることになろう。応用例の一つとしてはシースルータイプのディスプレイで、使用環境（周囲の景色など）と表示情報の融合などが可能（ミクストリアリティ）となる。これを実現しえるディスプレイ候補としては LCD や有機 EL が現時点では挙げられる。

4.2 電子ペーパーメディア

4.2.1 産業の現状

携帯電話は、従来のビジネスモデルをハードウエアからサービス中心に変えたことで産業界に大きなインパクトを与えた。ゲーム業界も同様の現象が進行し、高コスト高性能のハードでも、戦略的に安く大量に一気に普及させ、コンテンツで収益をあげるというモデルが一般化してきた。携帯電話やゲーム機は、PDA や PC のハードウエア性能を一部上回り、PCの機能の取り込みも図ろうとしている。

一方、国内では急速な勢いで伸びてきた携帯電話の普及が飽和レベルに達し、今後の大きな台数の伸びは期待できなくなっている。今後は、「お財布携帯」や「モバイル TV」に代表される新たなサービス開発への期待が高まっている。また、ゲーム機も「ゲーム離れ」が顕在化するなか新たなファンを獲得するための模索が始まっている。

このような状況下、PDA は守勢に立たされている。PDAは手のひらに収まるくらいの大きさの電子機器で、パソコンの持つ機能のうちいくつかを実装したものをさしている。液晶表示装置や外部との接続端子を搭載、電池や専用バッテリーで駆動する各種のPDAが発売された。当初は情報家電の携帯端末プラットホームとして大きな期待を持たれたが、超小型PCや高性能携帯電話の出現により、差別化が難しくなり、開発戦略/事業戦略の見直しが迫られている。

特に携帯電話は高性能化が急で、高精細小型画面と200万画素以上のデジカメ機能を備え、GPS, TV受信、カード/HDD による映像・音楽蓄積再生機能、インターネット、メール、プレゼンテーション機能まで備え、PC並みの性能を持つようになっており、携帯/PDA/ノートPC間の性能の垣根はなくなっている。
これらモバイル機器の唯一の違いはディスプレイサイズである。モバイルという環境下で、大量に得られる情報を如何に表示伝達するかが今後の携帯型プラットホームの重要な差別化要因になると考えられる。そういう意味では、現在のモバイル端末は、今後 10 年の間に形を大きく変えると予想される。即ち、現状の分類に拘らず「通信機能を備えた携帯情報端末の将来像」を、その発展形と考えられる電子ブック、ウエアラブルコンピュータ等を念頭において考えることが出来る。これらの発展は、電子ペーパーの技術開発によるところが大きい。

電子ペーパーの需要見通しに関しては、(株)富士キメラ総研による「2005有望電子部品材料調査総覧(上巻)」などがあるが、本予測は単なる紙の代替としての電子ペーパーメディアに関する需要予測であり、ペーパー内に様々な機能を集積するシステムオンパネルの技術が進めば、現状の PC、PDA、ゲーム機、携帯電話の市場も取り組む巨大なマーケットを形成する可能性が高い。

4.2.2 今後の見通しと課題

PDA/携帯PC/携帯電話などモバイル機器では、将来に向けても大きさ、重さ、連続使用時間が決定的に重要である。現状でも携帯電話のサイズに関しては体積100cc、重量100g以下にしないとヒットは難しいとの経験則がある。すなわち、それぞれの携帯情報ツールには、売れ筋の上限のサイズと重さがある。

従いモバイル機器は、軽薄短小化という流れの中で、部品点数削減のための ASIC 化や個々の部品の高密度化を進めていく必要がある。さらに一歩進め、世界をリードするためにはディスプレイの基板上に周辺回路を作り込む「システムインテグレーション」に注力する必要がある。その際、ガラス基板上では、600度 C 以下の低温プロセスでシリコンを結晶化する必要があるが、現状では、まだ、単結晶シリコンに比べて性能が不十分(現状の電子移動度~200c㎡/Vs)である。ディスプレイの更なる多機能化を実現するには、移動度を大幅に高めるための新たなブレークスルーが必要である。

ディスプレイは情報量の増加に伴い、更なる高精細化と可能な限り大きな画面サイズが要求されるようになる。

通信インフラの整備により情報量が拡大したにもかかわらず、表示装置は携帯電話で2インチ、PDAで4インチ、PCで10インチ程度と小さな画面で受けることを余儀なくされている。表示系にブレークスルーがなければ、ユーザーは、外出先で情報環境の豊かさを充分に享受することはできないと考えられる。

一般的な、モバイル機器が備えるディスプレイへの要求仕様は、重量、厚みに加え、フレキシビリティ(折り曲げ、折りたたみ、巻きこみ)である。フレキシビリティに関しては、現状、LCD,有機 EL、新規表示デバイス等、世界中で開発競争が激化している。

表示性能としては、紙のような視認性(白反射率、解像度、コントラストなど)を実現しつつ超低消費電力が要求され、同時に周辺部材・部品を含めたフレキシブル性と、超軽量化を実現する必要がある。現状は紙をベースにして書き換え可能機能を付加したリライタブルペーパーと、LCD、有機ELなどの電子ディスプレイにメモリー機能の付加やフレキシブル化を図ったペーパーライクディスプレイが研究されているが、前者は表示の書き換えが不十分であり、後者は表示性能(視認性)が紙のレベルに達していないという課題がある。

また、明視距離での解像度が視力換算で1.0の解像度、コントラスト、輝度、色再現性、白紙反射率が紙並みのものが要求される。さらに、ディスプレイに機能の一部または全部を集積するシステムディスプレイの開発も必要不可欠である。今のところ、表示性能と可搬性の両面で紙や布に匹敵する性能を実現するには非常に高いハードルが存在する。現状のPCは立ち上げに長時間かかり使い勝手が悪いが、大容量で高速の不揮発性メモリーが開発されれば、利便性は大幅に向上すると考えられる。

4.2.3 キーテクノロジー

携帯型機器では、重量、大きさ、連続使用時間などハード的な性能が使い勝手の良さに大きく関係するが、これらはLSI(SoC),電池、メモリーなどの技術開発ロードマップとの関係が深い。

携帯機器では、情報の表示が大きな課題となる。携帯性を考えるとできるだけ小さい画面が想定されるが、視認性が落ちる。そこで、ディスプレイは、重量、厚みの軽減は当然として、フレキシブル、折りたたみ、まるめ可能といった機能が要求される。また、高精細な小さいパネルに表示し、それを光学的に拡大する眼鏡型、あるいはプロジェクション型のディスプレイも考えられる。また、理想的には、そのディスプレイに CPU、メモリーなどの機能を集積させ、小型軽量化を図りたいところである。

携帯機器は屋内外昼夜を問わず利用することから表示視認性については解像度、コントラスト、輝度、色再現性、白紙反射率など、紙以上のレベルが求められ厳しい要求仕様となる。

出先での時間を有効に使うのが、携帯機器に最も要求され、瞬時立ち上げが一つ重要な開発技術となる。それには大容量の不揮発性メモリーが不可欠であり、ナノストレージメモリーの開発に期待したいところである。二つ目の開発技術は、瞬時に欲しい情報の検索ができ、内容の把握も短時間でできることが重要である。これら検索・要約の技術は、ホームサーバーの機能としても重要であり、連携をも含めて一部取り込みを図ることが必要となる。3 番目の開発技術は、携帯性である。ウエアラブルという観点からネットワークを旨く使いこなし機能の分散の最適化が今後の重要な技術となる。

4.3 ホームサーバ

4.3.1 産業の現状

ホームサーバーは、AV(音響・映像)機器、パソコン、白物家電などが接続されたホームネットワーク上にあり、それらの機器に多様なサービスを提供するデジタル家電のことを言う。まだ、市場は形成されておらず、その具体像や発展シナリオに関しては様々な見方がある。

一般には、大容量の蓄積メディアを備え、高品質のデジタル映像や音楽などのマルチメディアデータを常時蓄積して、要求に応じてホームネットワーク上の AV 機器やパソコン、あるいは外出先の携帯端末へデータを配信したり、エアコン、冷蔵庫などの白物家電を制御する機能や防犯機能などを備えるほか、今後開発される様々な家庭向けサービスを受けるプラットホームになるのがホームサーバーと考えられている。

ホームサーバーのコンセプトは一般消費者にとり馴染みにくいので、普及するにはユーザが導入するためのシナリオが重要になる。例えばAV機器メーカーではVTRの代替という分かりやすい機能を中心とし、ネットワークの連携による多機能化をはかりながら消費者に徐々に浸透させることを狙っている。具体的には、大容量のハードディスクにテレビ番組を録画、インターネット経由で外出先から録画予約できる機能を備えた商品が発売されている。しかし、HDD内蔵機器の記録容量はハイビジョンテレビ番組の蓄積には未だ不十分であると言える。チューナーもひとつしか無いため、番組を選んで録画する必要があったが、チューナーを複数備えたものも発売されるようになり、いずれは全放送局のハイビジョン全番組を同時に少なくとも一週間分は自動録画して、見たい番組は好きなときにいつでも見られるようなると考えられる。さらに大容量化により個人で所有するビデオ・オーディオCDなどをすべて蓄積し、オートチェンジャーの様な使い方も出来ることになる。また、インターネットを介して有料無料のコンテンツをダウンロードしてみることが可能になると考えられる。AV機器だけでなく冷蔵庫やエアコンなどの白物家電や通信機器との接続性については、様々な提案や開発が進められている段階にある。

４．３．２ 今後の見通しと課題

現状ではホームネットワークの本格普及はまだ先で、ホームサーバーの市場もニーズも顕在化していない。今後、デジタル放送、番組のネットワーク配信、インターネットとテレビ番組の連携が進み、インターネットを介した様々な家庭向けサービスが提案されるなかでホームサーバーは、徐々に家庭に浸透すると考えられる。ホームサーバーには、3 つの発展シナリオが考えられる。

1 つは、テレビ画像の蓄積編集が基本となる「VTRの発展形」としてホームサーバーを位置づける、いわゆるビデオ機器からの発想である。大容量HDDをもつTVチューナー付きDVDレコーダー又はデジタル化されたCATV のセットトップボックスが主役で、ネットワーク機能を備えながらホームサーバーへと進化していく道が想定される。この進化のなかで、注目すべきは 2007 年にも開始予定のサーバー型データ放送である。

2 つ目は、家庭内 LAN に接続した様々な機器をサポートするパソコンサーバーの発展形がホームサーバーとなるという考え方である。最近はテレビ受信・蓄積機能のついたいわゆるAVパソコンが発売されるなど、ビデオ側機能を取り込む動きが盛んである。

3 つ目がインターネット接続のための「ルーターの発展形」として捉えるホームゲートウエイからの発想である。

これら、3つのシナリオは、それぞれ家電メーカー、パソコンメーカー、通信ネットワークメーカーの構想であり、それぞれ、自分の強みとする製品を発展させて新市場への参入を試みている。

既に、市場には同時に複数チャンネル一週間分の放送番組が録画できるHDD内蔵AV機器や、チューナーを備え、録画したデータを自由に編集できるPCなどが発表されている。

ホームサーバーは、据え置き型の機器が想定されているが、メモリーの大容量化が進むにつれポケットサイズの、いわゆるユービキタス・ストレージ・システムも出現すると考えられ、それらの機器間のすみわけなども、今後、検討課題になると思われる。

今後の技術課題としてハード性能の向上（CPU、蓄積容量、アクセススピード、低消費電力）に加え、著作権保護、ネットワークセキュリティ、ファイル管理は不可欠であるが、家庭内への浸透を考えると使い勝手の良い製品がホームサーバー普及の鍵となると考えられる。具体的には自動セットアップ、自動バージョンアップ、自動バックアップ、セキュリティ、直感的操作などの機能が要求される。

先端の情報技術を家電に展開するのは日本が得意とするところであり、ホームサーバーに関しても、世界をリードしていくためのインフラ整備、ホームネットワークの普及、サービス開発などの支援策を総合的に進めていくことが必要不可欠である。

４．３．３ キーテクノロジー

ホームサーバーは、多くの技術が統合されたシステムである。安心してネットワークに接続できるような環境が提供されているという前提で考えると、普及の鍵を握るのは、誰でもストレスを感じることなく、その機能を最大限利用できるようなユーザビリティ関連技術があげられる。

その中でも家庭に普及させるために、もっとも重要なのはキラーアプリケーションの開発である。現状からの予測では、放送、ネットワーク、パッケージなどを介して入手される映像コンテンツを蓄えておくビデオサーバーとしての機能であるが、それに加えて電子写真や書籍、さらには防犯カメラの映像の記録、家庭内機器の制御機能などが付加されると考えられる。

ホームサーバーのような多機能の機器を手軽に直感的に制御するためにはヒューマン・インタフェース技術が重要である。また、それをささえる認識理解などのユーザビリティ関連の基盤ソフトウエア技術、それらの基盤要素技術を組み合わせることにより開発可能な、コンテンツ・ナビゲーション技術（嗜好分析、メタデータ生成編集、シーン検索、サマライゼーション）が、蓄積メディアに大量に蓄えられた多数のビデオデータの中から望むものを検索し、それを効率よく楽しむための仕組みとして重要な役割になると考えられる。

また、上質なコンテンツが大量に供給されるためには、供給側が安心して提供できるネットワーク環境の構築が必要不可欠であり、著作権保護技術が重要となる。ただ、著作権保護技術は、基本原理は多数提案されており、どちらかというと権利利害関係が複雑に絡み合う中で業界標準を迅速に作っていく方策が問われていると考えられる。

４．４ センサ／スマートタグ

４．４．１ 産業の現状

センサネットワークを実現するための無線センサノードを販売する企業は当初米 Crossbow のみであったが、2003 年 2004 年と Millennial Net、Dust Networks などの企業が新規参入している。現在 Crossbow ではセンサノード 1 台あたり 100 ドル程度で販売されている。日本では三菱電機が市場展開することを目指し、実証実験など積極的に活動している。センサネットワーク市場の第一段階の目標として軍事利用や石油産業などでの利用が目されている。しかしどの企業でもまだ研究目的や実証実験目的の成果はあげているが実際に導入されたという事例は現在のところ存在しない。その原因となっているのが価格と消費電力である。2004 年に入り、無線センサネットワークの無線通信機構の標準として策定された2．4G 帯を使用し、スロット方式の CSMA 通信を採用した ZigBee（802.15.4）のチップが市場に投入されてきた。ZigBee の市場投入はセンサノードの生産コストや低消費電力化につながり、今後特定領域でのセンサネットワークの利用が促進されることが予想される。

スマートタグ技術は、既に 2004 年の時点で特定領域での利用は行われており、技術的には実用化の域に達した面もある。例えばペットの管理、ファクトリオートメーション、運輸関係では実際に使用されている事例が存在する。しかしながらスマートタグの利用はあくまでも特定領域での使用に限られており、サプライチェーンマネージメント、社会基盤レベルでの障害者サポート、食品トレーサビリティへの利用は依然として導入には大きな障壁がある。そのボトルネックとなっているのが情報基盤と社会基盤の問題である。今後は情報基盤と社会基盤の整備が進められると同時に、横断的なスマートタグを利用したサービスが生まれてくると想定される。

４．４．２ 今後の見通しと課題

センサネットワーク技術はスマートタグ技術の初期と同様に徐々に特定領域への市場展開がされていくと考えられる。現在市場展開が注目されている領域として、軍事利用と工場などでの遠隔監視などが期待されているが、まだ実際に導入された事例はない。その際のボトルネックとなっているのが消費電力と価格である。

センサネットワークではノードの数が膨大であるため、電池などの交換ができない。そのため、バッテリ駆動で数年単位の動作をすることができる低消費電力技術が求められる。特に無線通信はこれまで高速化が主な研究開発のターゲットであったため、低消費電力な通信技術はまだ確立されていない。現在 ZigBee が無線センサネットワーク向けの無線通信デバイスとして注目されているが、ZigBee はスター型の通信形態では低消費電力で動作するものの、メッシュ型の通信形態では消費電力が大きいために限定された領域にしか適応することができない。柔軟なネットワークの構築を考えるとセンサネットワークではメッシュ型の通信形態は必須であり、メッシュ型の通信形態で低消費電力動作するメディアアクセス制御方式などの研究開発や標準化が必須である。

センサノードの価格は、現在 10,000 円（100 ドル）程度であるが、短期的な目標としてはまず、1,000 円以下での実現が求められる。現在技術的には適応可能な領域に対しても、センサノードの単価が高価であり、かつ必要なセンサノードの数が膨大であるため導入が見送られている。さらに、将来的な一般家庭のセキュリティや水質管理、家電の制御などへの応用を考えると 10 年以内に 10 円以下で実現可能になることが期待される。このためには、無線通信などの個々の要素技術を確立すると共に SoC（System On a Chip）などの技術によって複数の機能を1チップ化する技術が必須となる。

スマートタグは現在ペットの管理や運送関係などの特定領域では既に実用化されている。しかしながらサプライチェーンマネージメントや商品トレーサビリティなどの複数システムの横断的なサービスは実現されていない。その大きな原因として情報基盤と社会基盤の整備がまだ済んでいないという問題が存在する。情報基盤としてはタグ ID とタグ ID に関する情報を結びつけるための技術の研究開発が急務である。これに向けた技術として Auto ID Center の ONS（Object Name Service）やユビキタス ID センターの ucode 解決サーバといった技術が検討されているが未だ世界的な標準とはなっていない。スマートタグでは管理する ID の数が膨大であるため、DNS といった既存の分散システムではスケーラビリティの観点から対応が難しいことが予想され、今注目されている DHT（分散ハッシュテーブル）などの新しい技術が必要となる可能性がある。社会基盤の整備としては使用可能な周波数、アドレス体系などの標準化による互換性の実現やプライバシーに関するガイドラインの制定などを行わなければならない。

これに加え、将来的にスマートタグが高機能化されることが予想される。例えば温度センサを具備したスマートタグをワインに付与することでワインの流通管理と品質管理を同時に行うことができるようになる。このような技術はセンサネットワーク技術の一部であり、最終的にはセンサネットワーク技術とスマートタグ技術が統合されていくことが予想される。

センサネットワーク技術は要素技術が確立されるにつれて徐々に特定領域での利用が行われていくと考えられる。それと平行し、スマートタグを中心としてセンサネットワークを含めた社会基盤の整備を実現することでより広範なサービスを生む礎となる。

４．４．３ キーテクノロジー

センサネットワークを実現するためのキーテクノロジーとして、(a)低消費電力無線通信技術、(b)センサノードに対するネーミングなども含めたデータ管理技術、(c)センサノードの位置同定技術、(d)電源技術、(e)小型化技術、(f)セキュリティ技術が挙げられる。

a) 低消費電力通信技術の実現のための鍵となるのは無線通信時のメディアアクセス制御方式である。無線の送信と受信を効率よくスケジューリングすることで大幅に消費電力を抑えることが可能となる。加えて、アンテナや変調方式などの物理層の技術も重要となる。例えば、現在標準化が進んでいるUWB(Ultra Wide Band)は周波数方向にデータを分散させることで短い時間でたくさんのデータを送信することができる。この技術を用いることでデータ送信にかかるコストを削減することが可能となる。

b) センサネットワークでは取得されるデータの量が膨大であるため、センサノードに対するネーミング技術、データ記述技術、データ保存技術などのデータ管理技術が必須となる。特に複数のセンサネットワークを横断的に使用するような利用形態を考えた場合、各センサネットワーク間でデータ記述等の標準化も重要な要素となる。

c) センサネットワークの位置同定技術は、膨大なセンサノードの中から「ある点(X、Y)の周囲 10 メートル四方の温度」といった検索や「X ビル 4F の 408 号室の温度」といった検索をする際に必要になる。センサノードの各位置の同定を手入力で行うことは想定されているノードの数から現実的ではなく、GPS や UWB(Ultra Wide Band)などの無線技術を用いたものや、超音波を用いたもの、画像処理によって同定するものなど個々の技術によって自動的にセンサノードの位置を同定する技術が必要となり、状況に応じてこれらの技術を使い分ける必要がある。

d) センサネットワークでは、センサノードの数が膨大であるため電池の交換などが困難であり、少なくとも数年単位でセンサノードを継続使用できる必要がある。これに向けて、無線通信技術の低消費電力化と同時に新しい電源技術が必須となり、パッシブ RFID タグのような電波の反射波の利用、空気の振動からの発電、ソーラーパネルを使った発電、液体燃料を使用した次世代電池など、センサノードの使用領域に応じたさまざまな電源技術の研究開発が必要である。

e) 小型化技術は、センサネットワークの適応領域を広げるために必要となる。スマートタグがμチップのように小型化されることで 2005 年日本国際博覧会(愛・地球博)の入場券に採用されるなどの応用が広がったように、センサノードの小型化により下水に流して水質汚染を管理するといった利用が可能となる。小型化技術のポイントとしてはセンサネットワークの要素技術を確立し、SoC などの技術によって1チップでさまざまな機能を実現することが考えられる。

f) センサネットワーク技術はスマートタグ技術と同じように実空間の情報を仮想空間に取り込む技術であるため、プライバシーの問題と密接に関係する。特に一般家庭内や人体組み込み型のセンサネットワークの使用を想定した場合にセキュリティは最重要な問題になる。そのため、プライバシーを守ることができるようなデータの暗号化も含めたセキュリティ技術が重要になる。特に、現在スマートタグで検討されているような制限されたダイサイズでの暗号化回路の実現など物理レベルの問題からセンサネットワーク内における鍵の配布問題、社会基盤レベルのプライバシガイドラインの制定などさまざまな問題を解決する必要がある。

スマートタグ技術のキーテクノロジーとしては、オブジェクトが具備するタグ ID とオブジェクトの情報の関連付け技術が挙げられる。スマートタグで扱うIDはIPアドレスと比較にならないほど巨大な数が存在し、DNSといったこれまでの分散技術では対応できない可能性がある。これに向けては、DHT といった新しい分散技術で実現することが考えられる。スマートタグ技術が将来的にセンサネットワーク技術と融合されていくことを考えると、スマートタグおよびセンサネットワークの両方に対応できるようなデータ管理技術が必要となる。